

Jorma Pietiläinen, Timo Kauppinen, Keijo Kovanen,
 Veijo Nykänen, Mikko Nyman, Satu Paiho,
 Janne Peltonen, Hannu Pihala, Timo Kalema &
 Hannu Keränen

ToVa-käsikirja

Rakennuksen toimivuuden varmistaminen
 energiatehokkuuden ja sisäilmaston kannalta

ToVa-käsikirja

Rakennuksen toimivuuden varmistaminen energiatehokkuuden ja sisäilmaston kannalta

Jorma Pietiläinen, Timo Kauppinen, Keijo Kovanen, Veijo Nykänen,
Mikko Nyman, Satu Paiho, Janne Peltonen & Hannu Pihala

VTT

Timo Kalema & Hannu Keränen

Tampereen teknillinen yliopisto



ISBN 978-951-38-6969-4 (nid.)
ISSN 1235-0605 (nid.)

ISBN 978-951-38-6970-0 (URL: <http://www.vtt.fi/publications/index.jsp>)
ISSN 1455-0865 (URL: <http://www.vtt.fi/publications/index.jsp>)

Copyright © VTT 2007

JULKAISIJA – UTGIVARE – PUBLISHER

VTT, Vuorimiehentie 3, PL 1000, 02044 VTT
puh. vaihde 020 722 111, faksi 020 722 4374

VTT, Bergsmansvägen 3, PB 1000, 02044 VTT
tel. växel 020 722 111, fax 020 722 4374

VTT Technical Research Centre of Finland, Vuorimiehentie 3, P.O. Box 1000, FI-02044 VTT, Finland
phone internat. +358 20 722 111, fax + 358 20 722 4374

VTT, Lämpömiehenkuja 2, PL 1000, 02044 VTT
puh. vaihde 020 722 111, faksi 020 722 7054

VTT, Värmemansgränden 2, PB 1000, 02044 VTT
tel. växel 020 722 111, fax 020 722 7054

VTT Technical Research Centre of Finland, Lämpömiehenkuja 2, P.O. Box 1000, FI-02044 VTT, Finland
phone internat. +358 20 722 111, fax +358 20 722 7054

Toimitus Anni Kääriäinen

Viimeistely Auli Rautakivi

Edita Prima Oy, Helsinki 2007

Pietiläinen, Jorma, Kauppinen, Timo, Kovanen, Keijo, Nykänen, Veijo, Nyman, Mikko, Paiho, Satu, Peltonen, Janne, Pihala, Hannu, Kalema, Timo & Keränen, Hannu. ToVa-käsikirja. Rakennuksen toimivuuden varmistaminen energiatehokkuuden ja sisäilmaston kannalta [Guidebook for life-cycle commissioning of buildings energy efficiency and indoor climate]. Espoo 2007. VTT Tiedotteita – Research Notes 2413. 173 s. + liitt. 56 s.

Avainsanat buildings, energy efficiency, indoor air, commissioning, risk analysis, simulation, operability, measurements, validation, automation

Tiivistelmä

Lukuisat kotimaiset ja kansainväliset esimerkit ovat osoittaneet, että rakennusten toimivuudessa on usein puutteita eivätkä sisäilmasto ja energiatehokkuus ole tavoitteiden mukaisia. Aivan uusissakin rakennuksissa esiintyy merkittäviä virheitä, joista taloudellisten menetysten lisäksi voi aiheutua myös terveyshaittoja ja turvallisuusriskejä. Tilanteen parantamiseksi on erityisesti USA:ssa kehitetty ns. Building Commissioning -menettelyjä, joilla varmistetaan täsmällinen tilaajan tavoitteiden dokumentointi, suunnittelutavoitteiden määrittely ja se, että valmistunut rakennus toimii suunnitelmien ja niissä asetettujen tavoitteiden mukaisesti. Vastaavan kotimaisen toiminnan aikaansaamiseksi toteutettiin Tekesin Cube-ohjelmassa hanke ”Olosuhteiden ja energiatehokkuuden commissioning-palvelut kiinteistöissä (Cx-palvelut)”, jonka tuloksena syntyi tämä käsikirja.

Käsikirjassa esitetään suomalainen vastine commissioning-toiminnalle, jota on päätetty kutsua toimivuuden varmistamiseksi (ToVa-toiminnaksi). Toimivuuden varmistaminen on suunnittelutavoitteiden asettamisesta alkaen koko rakennuksen elinkaaren kattavaa systemaattista toimintaa, jolla varmistetaan se, että rakennukselle ja sen järjestelmille asetettavat tavoitteet on määritelty selkeästi ja niiden toteutumista ohjataan säännöllisesti rakennushankkeen eri vaiheissa. Käsikirja keskittyy erityisesti sisäilmaston ja energiatehokkuuden varmistamiseen. Siinä kuvataan ToVa-toiminnan organisointi ja tehtävät hankkeen elinkaaren aikana sekä annetaan yleisiä ohjeita ja yksityiskohtaisempia tarkistuslistoja varmistustoiminnan käytännön suorittamiseksi. Omana lukunaan käsitellään toimivuuden varmistamisessa käytettäviä menetelmiä. ToVa-toimintaa palvelevista mitausmenetelmistä on laadittu lisäksi erillinen raportti, jota voidaan käyttää yhdessä käsikirjan kanssa. ToVa-toiminnan jalkauttamista ja jatkokehittämistä varten on perustettu myös alustava Internet-portaali (www.tova.fi), josta em. raportti sekä käsikirjan sähköinen versio ovat saatavissa.

Hyvä sisäilmasto ja energiatehokkuus tuotetaan ja niitä hallitaan samoilla järjestelmillä. Keskeisenä tavoitteena toimivuuden varmistamisessa on saada rakennuksen vaippa ja talotekniset järjestelmät toimimaan hyvin yhteen ottaen huomioon kiinteistön erilaiset käyttö- ja kuormitustilanteet. Tämä edellyttää hyvää tiedonvaihtoa, yhteistyötä ja koor-

dinointia suunnittelun ja toteutuksen eri osapuolten kesken sekä osaavaa ja tehtäviinsä ajoissa perehdytettyä ylläpitohenkilöstöä. Hyvä sisäilmasto palvelee käyttäjien toimintaa kiinteistössä. Hyvin suunnitelluilla, säädetyillä ja ylläpidetyillä järjestelmillä sisäolosuhteet voidaan tuottaa myös energiatehokkaasti.

Yksi ToVa-toiminnan keskeinen vaatimus on, että suunnittelutavoitteet kohdistetaan rakennuksen toiminnallisuuteen (esim. sisäilmasto yksilöitynä hyväksyttäviin lämpötiloihin ja hiilidioksidipitoisuuksiin ja energiatehokkuus yksilöitynä lämmön ja sähkön kulutuksiin ja käyttökustannuksiin). Toinen keskeinen vaatimus on, että asetetut tavoitteet täytyy pystyä todentamaan mittauksin. Jo suunnitteluvaiheessa on siis varmistuttava tästä. Ei kuitenkaan riitä, että sisäilmastoa ja energiatehokkuutta seurataan. Kolmas vaatimus on, että jos poikkeamia tavoitearvoista havaitaan mittauksissa, poikkeamien syyt selvitetään ja mahdolliset viat korjataan. Joskus tilanne voi olla sellainen, ettei asetettuja tavoitteita pystytä saavuttamaan toteutetuilla ratkaisuilla. Tällöin on korjattava alkupe-
räisiä tavoitteita.

Pietiläinen, Jorma, Kauppinen, Timo, Kovanen, Keijo, Nykänen, Veijo, Nyman, Mikko, Paiho, Satu, Peltonen, Janne, Pihala, Hannu, Kalema, Timo & Keränen, Hannu. ToVa-käsikirja. Rakennuksen toimivuuden varmistaminen energiatehokkuuden ja sisäilmaston kannalta [Guidebook for life-cycle commissioning of buildings energy efficiency and indoor climate]. Espoo 2007. VTT Tiedotteita – Research Notes 2413. 173 p. + app. 56 p.

Keywords buildings, energy efficiency, indoor air, commissioning, risk analysis, simulation, operability, measurements, validation, automation

Abstract

Numerous studies and everyday experiences prove the fact that even new buildings do not perform as expected. Dissatisfaction with the indoor air quality and with thermal comfort is common and the energy efficiency is not in the targeted level regardless of the new technology utilised and advanced systems installed. To avoid these kinds of situations quality assurance procedures known as Building Commissioning have been developed and taken into the use especially in USA. In order to start similar activities in Finland a R&D project was carried out in 2004–2006 as part of the Finnish Building Services Technology Programme (CUBE). With this project Finland participated also in the international development of commissioning procedure carried out in the IEA ECBCS Annexes 40 and 47. In the collaborative project including VTT, Tampere University of Technology and many public and private actors from construction sector (listed in appendix J) this general guidebook for commissioning was developed and Finnish term “Toimivuuden Varmistaminen” (ToVa) for commissioning (Cx) was launched.

In the guidebook general procedure for ToVa activities is described covering the whole life cycle of the building. ToVa means clear definition, capturing and documentation of end user requirements and their compliance assessment and verification in all the phases from design through realisation to the operation and use. In the guidebook special focus has been put on the indoor air quality and energy efficiency. Guidebook includes general instructions for the assessment and verification of IAQ and energy efficiency but gives also checklists to be used in different phases of building process. Organisation and responsibilities of ToVa-activities as well as methods to be used in different phases have been discussed in guidebook. In a separate report useful measurements for ToVa have been described and instructions for practical work are given. For the deployment and further development of ToVa-activities an internet domain (www.tova.fi) have been set up, where also this guidebook can be downloaded.

Good indoor environment and energy efficiency are produced and managed by the same systems of building. Strategic objective of ToVa is to integrate the building envelope with the other technical systems, especially building services and simultaneously take

into account the changing outdoor circumstances and user needs. Prerequisite for the success is active interchange of information and open collaboration among the actors of design and construction process. It is also essential to involve the operation and maintenance personnel in early phase to the process, and in this way assure their capability to take care of the building when handed over. Finally the end users must be introduced to the proper use as well and flexible feedback channel to inform about failures etc. should be available.

Alkusanat

Uudisrakentaminen sekä olemassa olevan rakennuskannan korjaus ja ylläpito ovat merkittävä osa maamme kansantaloutta sekä resurssien käyttäjänä että myös työllistäjänä. Rakennukset tarjoavat puitteet niin asumiselle kuin lähes kaikille muillekin yhteiskunnan toiminnoille. Maamme ilmasto-oloissa hyvän sisäilmaston ja energiatehokkuuden merkitys korostuu aivan erityisesti. Elämisen puitteet – viihtyisä ja terveellinen asuinympäristö sekä työskentely- ja tuotanto-olosuhteet – luodaan suurimmalta osin laadukkaalla rakentamisella, korjaustoiminnalla ja kiinteistöjen ylläpidolla. Myös taloudellisessa mielessä rakennuksilla on erittäin huomattava merkitys niin kotitalouksien, yritysten kuin koko kansantaloudenkin näkökulmasta. Globaalien ilmasto-ongelmien vuoksi rakennusten energiankäytön tehostamiseen on kaikissa maissa panostettava entistä voimakkaammin. Tähän kannustaa myös näköpiirissä oleva energian hinnan pitkäjänteinen kohoaminen.

Rakentamisen laatu ja rakennusten toimivuus ovat jo pitkään olleet julkisen keskustelun ja mielenkiinnon kohteena. Laadun parantamiseksi on tarkennettu lainsäädäntöä sekä rakentamista koskevia määräyksiä ja ohjeita. Urakoitsijat ja laite- ym. toimittajat ovat kasvavassa määrin ottaneet käyttöön laatu- ja ympäristöjärjestelmiä. Erityisesti suuret tilaajaorganisaatiot ovat kehittäneet omia suunnittelu- ja rakennuttamiskäytäntöjään. Myös tutkimus- ja koulutusorganisaatioissa sekä alan järjestöissä on panostettu runsaasti erilaisiin kehittämishankkeisiin. Kaikesta huolimatta rakentamisen puutteet ja ongelmat ovat jatkuvan huomion ja keskustelun kohteena tiedotusvälineissä ja alan ammattilaisten keskuudessa.

Em. kotimaisten lähtökohtien ja kansainvälisten esimerkkien pohjalta käynnistettiin osana Talotekniikan teknologiaohjelmaa (CUBE) T&K-hanke ”Olosuhteiden ja energiatehokkuuden commissioning-palvelut kiinteistöissä”. Hankkeessa on tutkijatahojen sekä lukuisten alan yritysten ja muiden toimijoiden yhteistyönä kehitetty menettelyjä rakennusten laadun ja toimivuuden varmistamiseksi erityisesti sisäilmaston ja energiatehokkuuden kannalta. Samalla kotimaiseen rakentamiskäytäntöön pyritään juurruttamaan mm. USA:ssa jo pitempään käytössä ollutta ns. building commissioning -toimintaa, jonka kotimaiseksi vastineeksi on valittu ilmaisu ”toimivuuden varmistaminen” (ToVa). Hankkeen tuloksena on syntynyt käsillä oleva ToVa-käsikirja, jossa kuvataan toimivuuden varmistamisen systematiikka ja menettelyt rakennuksen koko elinkaari huomioon ottaen. Olemassa olevan rakennuskannan ja rakennushankkeiden moninaisuuden takia menettelyt on tietoisesti jätetty jossain määrin yleisiksi. Käsikirjan soveltaminen ja yksityiskohtainen ohjeistus jäävät näin ollen kunkin organisaation ja erilaisten jatkohankkeiden varaan.

Tutkimus- ja kehitystyöstä hankkeessa ovat vastanneet VTT ja Tampereen teknillinen yliopisto. Hankkeeseen ja sen rahoitukseen ovat merkittäväällä panostuksella osallistuneet myös seuraavat yritys- ym. organisaatiot (tarkemmat tiedot liitteessä J):

- Are Oy
- AirIx Oy
- Comsel System Oy
- E.ON Finland Oyj
- Fläkt Woods Oy
- Helsingin asuntotuotantotoimisto
- Helsingin kaupungin rakennusvirasto
- JP-Talotekniikka
- Lonix Oy
- Motiva Oy
- Mx Electrix Oy
- Optiplan Oy
- Porin kaupunki
- Puolustushallinnon Rakennuslaitos
- Senaatti-kiinteistöt
- Skanska Oy
- YIT-Kiinteistötekniikka Oy
- Take Oy (CUBE)
- Tekes
- VVO-sähkö Oy.

Käsikirjan kirjoittajien lisäksi hankkeeseen ovat jossain vaiheessa osallistuneet VTT:stä Olli Teriö (systematiikan kehittäminen v. 2003), Ilpo Kouhia (käsikirjan kommentointi) ja Markku Norvasuo (käsikirjan valaistusosiot). Kiitämme kaikkia ToVa-hankkeeseen osallistuneita ja käsikirjan valmistumiseen myötävaikuttaneita. Toivomme käsikirjan auttavan nykyistä toimivampien rakennusten sekä parempien asuin- ja työskentelytilojen aikaansaamista.

Esa Klemetti

Johto- ja ohjausryhmän puheenjohtaja

Jorma Pietiläinen

Projektipäällikkö

Sisällysluettelo

Tiivistelmä.....	3
Abstract.....	5
Alkusanat.....	7
Käsitteet.....	12
1. Johdanto.....	15
1.1 Käsikirjan sisältö.....	15
1.2 Toimivuuden varmistuksen määrittely.....	16
1.3 Hyötypotentiaali rakennusten toimivuuden ja energiatehokkuuden varmistamisessa.....	17
1.4 Toimivuusvastuun hajanaisuus rakennushankkeissa.....	23
2. Toimivuuden varmistamisen systematiikka ja prosessi.....	25
2.1 Lähtökohdat.....	25
2.2 ToVa-prosessi.....	27
2.3 ToVa-toiminnan tavoitteet.....	29
2.3.1 Rakennuksen energiatehokkuuden varmistus.....	32
2.3.2 Rakennuksen sisäilmaston varmistaminen.....	38
2.4 Riskien kartoitus ja hallinta.....	41
3. Toimivuuden varmistuksen organisointi.....	48
3.1 Toimivuuden varmistamisen organisointi ja johtaminen.....	48
3.1.1 Perinteiset projektikäytännöt sisäilmaston ja energiatehokkuuden varmistamisen kannalta.....	48
3.1.2 ToVa-tiimin kokoaminen.....	48
3.1.3 ToVa-tiimin tehtävät ja toiminta.....	51
3.2 Toimivuuden varmistuksen liittyminen muihin laatukäytäntöihin.....	53
3.3 Koulutus ja perehdyttäminen.....	55
4. Toimivuuden varmistaminen rakennuksen elinkaaren päävaiheittain.....	57
4.1 Tarveselvitys- ja hankesuunnittelu.....	57
4.1.1 Vaatimusten asettaminen ja suunnitteluedellytysten varmistaminen.....	57
4.1.2 Sisäilmaston tavoitteiden asettaminen.....	60
4.1.3 Energiatehokkuuden tavoitteiden asettaminen.....	62
4.2 Suunnittelu.....	66
4.2.1 Suunnitteluedellytysten varmistaminen.....	66
4.2.2 Sisäilmaston toimivuuden varmistaminen.....	74

4.2.3	Energiatehokkuuden varmistaminen	74
4.2.4	Järjestelmäkohtaiset varmistukset	75
4.3	Toteutussuunnittelu	89
4.3.1	Järjestelmien tavoitteiden hyväksyntä	89
4.3.2	Sisäilmaston toimivuuden varmistaminen	91
4.3.3	Energiatehokkuuden varmistaminen	91
4.3.4	Järjestelmäkohtaiset varmistukset	92
4.4	Rakentaminen	96
4.4.1	Rakentamisvaiheen ToVa	96
4.4.2	Sisäilmaston toimivuuden varmistaminen	100
4.4.3	Energiatehokkuuden varmistaminen	100
4.4.4	Järjestelmäkohtaiset varmistukset	101
4.5	Luovutus ja käyttöönotto	107
4.5.1	Luovutuksen ja käyttöönoton ToVa	107
4.5.2	Sisäilmaston toimivuuden varmistaminen	110
4.5.3	Energiatehokkuuden varmistaminen käyttöönottovaiheessa	111
4.5.4	Järjestelmäkohtaiset varmistukset	111
4.6	Käyttö ja ylläpito	119
4.6.1	Käytön ja ylläpidon edellytysten varmistaminen	119
4.6.2	Sisäilmaston jatkuva varmistaminen	120
4.6.3	Energiatehokkuuden jatkuva varmistaminen	121
4.6.4	Käyttäjäpalaute ja järjestelmien jatkuva varmistaminen	129
4.6.5	Varautuminen korjauksiin (korjausvelka, tilankäytön tehokkuus)	133
5.	Sisäilmaston ja energiatehokkuuden toimivuuden varmistamisen menetelmiä	135
5.1	Energiatehokkuuden laskenta ja simulointimenetelmät	135
5.2	Mittausmenetelmät	141
5.2.1	Mittaukset yleensä	141
5.2.2	Sähkön mittaukset	141
5.2.3	LVI-järjestelmän mittaukset	146
5.2.4	Sisäilmastomittaukset	146
5.3	Rakennusautomaatioon perustuvat menetelmät	153
5.3.1	Rakennusautomaation hyödyntäminen	154
5.3.2	Rakennusautomaation hyödyntäminen ToVa-toiminnassa	155
6.	Toimivuuden varmistamisen visio ja tulevaisuuden mahdollisuudet	162
7.	Yhteenveto	166
	Lähdeluettelo	168

Liitteet

Liite A: Sisäilmaston ja energiatehokkuuden ToVa-tarkistuslistat

Liite B: Sisäilmastoon liittyvä vaatimustaulukko

Liite C: Ilmanvaihtojärjestelmän elinkaarikustannukset

Liite D: Pientalon teknisen laadun kriteeristö

Liite E: Esimerkki rakennuksen sähkötehon määrittämisestä tyhjäkäynnissä

Liite F: Esimerkki asukaskyselystä

Liite G: Esimerkkejä toimivuuden varmistuksen yksityiskohdista.

Liite H: ToVa-prosessin kustannukset ja saavutettava hyöty

Liite I: Esimerkki eräistä energiatehokkuustavoitteen saavuttamiseen vaikuttavista tekijöistä

Liite J: Rahoittajien yhteystiedot

Käsitteet

Energiankulutustavoitteet [Energy consumption targets]. Rakennukselle ja sen järjestelmille asetetut energiankulutustavoitteet.

Ekotehokkuus [Eco-efficiency]. Ekotehokkuus on tuotoksen tai hyödyn ja panoksen suhde. Tuotos on niiden tuotteiden ja palveluiden arvo, jotka yritys, sektori tai talous kokonaisuudessaan tuottaa. Panos on ympäristöön kohdistuvien paineiden ja kuormitusten summa. (YM:n raportti 580.)

Energiatehokkuus [Energy performance]. Rakennuksen standardoituun käyttöön, kuten lämmitykseen, veden lämmitykseen, jäähdytykseen, ilmanvaihtoon ja valaistukseen, kulutettu tai tarvittavaksi arvioitu energiamäärä. Voidaan ilmaista yhtenä tai useampana lukuna. Energiatehokkuusvaatimus asetetaan kansallisten rakentamismääräysten perusteella, ja uudisrakennuksissa se perustuu energian kokonaistehokkuuden laskentaan. Olemassa olevan rakennuksen energiatehokkuus voidaan määritellä myös toteutuneiden kulustietojen perusteella (Laki rakennuksen energiatodistuksesta 487/2007 ja Ympäristöministeriön asetus rakennuksen energiatodistuksesta 765/2007).

Jatkuva toimivuuden varmistaminen [Continuous commissioning process]. Rakennuksen järjestelmien toimivuus edellyttää jatkuvia säännöllisiä tarkistus- ja varmistustoimia koko rakennuksen elinkaaren ajan.

Käyttö- ja huoltokirja [Operation and maintenance manual]. Käyttö- ja huoltokirjassa kuvataan rakennuksen järjestelmien toiminta sekä jatkuva hoito ja kunnossapito (huoltokirja). Huoltokirja on nykyisin kasvavissa määrin osa kiinteistön tietoteknistä informaatiojärjestelmää.

Perehdyttämissuunnitelma [Training plan]. Suunnitelma, jossa esitetään tavoitteet, aikataulu, budjetti ja toimivuuden varmistusprosessin tulokset rakennuksen käyttö- ja huoltohenkilöstön sekä käyttäjien kouluttamiseksi.

Riskien arviointi [Risk evaluation]. Asiakirja, jossa esitetään hyväksyttävät riskitasot rakennukselle ja sen taloteknisille järjestelmille ja riskien arviointimenettely.

Suunnittelutavoitteet [Design intent]. Suunnittelijoiden dokumentoimat rakennushankkeen suunnittelutavoitteet.

Suunnitteluvaatimukset [Design requirements]. Asiakirja, jossa esitetään tilaajan rakennusohjelmaan perustuvat toimivuus- ja suunnitteluvaatimukset.

Sisäilmaston keskeiset osatekijät: lämpöolot, ilman laatu, ääniolosuhteet ja valaistusolosuhteet. Näiden osatekijöiden tavoitearvot, niiden saavuttamisen edellytykset ja niiden todentaminen voidaan määrittellä esimerkiksi Sisäilmastoluokitusta (Sisäilmastoluokitus 2000) tarpeen mukaan soveltaen.

Tarkennetut suunnitelmat ja asiakirjat [As-built records]. Suunnitteluasiakirjat, jotka on päivitetty toteutettujen asennusten, laitteiden ja järjestelmien mukaisiksi. Asiakirjat voivat sisältää piirustuksia, tietokonegrafiikkaa, laitekortteja, käyttöoppaita ja huoltokirjoja.

Testausmenettelyt [Test procedures]. Suunnitelma, jossa määritetään menetelmät, henkilöt ja tavoitearvot komponenteille, laitteille, järjestelmille ja järjestelmien yhteistoinnalle.

Todentaminen [Verification]. Prosessi, jonka avulla suunnitelmien, komponenttien, laitteiden ja järjestelmien varmistetaan vastaavan tilaajan vaatimuksia ja asetettuja tavoitteita.

Toimivuuden varmistamisesta vastuussa oleva henkilö [Commissioning authority]. Nimetty henkilö, joka johtaa toimivuuden varmistusprosessia rakennushankkeessa.

Toimivuuden varmistaminen – ToVa [Commissioning – Cx]. Prosessi toimivuuden ja energiatehokkuuden varmistamiseksi. Toimivuuden varmistusprosessissa tarkistetaan tilaajan vaatimuksien ja käyttäjien tarpeiden kattavuus, rakennuksen järjestelmien toimivuus- ja energiatehokkuusvaatimukset, auditoidaan osapuolien ratkaisut ja toimenpiteet toimivuuden saavuttamiseksi ja todennetaan, että rakennus saavuttaa asetetut energiatehokkuus- ja toimivuustavoitteet käytössä. x tarkoittaa toimivuuden varmistuksen päätyyppejä, uudisrakennushankkeen ToVa, jatkuva rakennuksen käytönaikainen ToVa ja vanhan rakennuksen ToVa.

Toimivuuden varmistamisen loppuraportti [Commissioning process report]. Tilaajalle luovutetaan hankkeen valmistuttua loppuraportti rakennuksen ja sen järjestelmien toimivuudesta sekä energiatehokkuudesta.

Toimivuuden varmistamisen tilanneraportti [Commissioning process progress report]. Tilanneraportti, jonka toimivuuden varmistusprosessin vetäjä antaa tilaajalle päävaiheittain ja rakennuksen valmistuttua.

Toimivuuden varmistussuunnitelma [Commissioning plan]. Suunnitelma, jolla määritetään toimivuuden varmistuksen tehtävät, vastuunjako, ajoitus ja dokumentointi. Tämä suunnitelma on tarkennettava rakennushankkeen päävaiheittain.

Toimivuuskokeet [Functional performance testing]. Kokeet, joilla määritetään ja todennetaan järjestelmien toimivuus.

Ympäristövaikutus- ja ekotehokkuustavoitteet [Environmental and sustainability goals]. Rakennukselle ja sen käytölle asetetut ekologisiin ja ympäristövaikutuksiin liittyvät tavoitteet.

1. Johdanto

1.1 Käsikirjan sisältö

Tässä käsikirjassa esitetään menetelmiä ja menettelytapoja rakennusten sisäolosuhteiden ja energiatehokkuuden varmistamiseen. Rakennusta tarkastellaan kokonaisuutena ja järjestelminä, joita ovat koko rakennus, tilat, vaippa, ilmastointi ja jäähdytys, lämmitys, valaistus, vesi ja viemäri, sähköjakelu ja automaatio. Lisäksi tarkastellaan eri järjestelmien välisen integraation hallintaa ja ToVa-toimintaa hankeprosessin johtamisen osana.

Tässä luvussa 1 kuvataan käsikirjan sisältö ja rakenne pääpiirteissään, määritellään toimivuuden varmistus, esitetään ToVa-toiminnan hyötypotentiaali ja käsitellään toimivuus- ja energiatehokkuusvastuun hajanaisuutta rakennushankkeissa.

Luvussa 2 esitetään toimivuuden ja energiatehokkuuden varmistamisen systematiikka ja prosessi. Luku 3 painottuu menettelytapojen organisoimiseen rakennushankkeissa eli siihen, miten toimivuuden hallintaan liittyvät menettelytavat voidaan liittää olemassa oleviin käytäntöihin ja miltä osin nykyisiä käytäntöjä olisi tarpeellista kehittää.

Luvussa 4 kuvataan päävaiheittain rakennushankkeen toimivuuden ja energiatehokkuuden varmistamiseen liittyvät menettelytavat. Luvussa 5 esitellään yksityiskohtaisemmin menetelmiä, jotka liittyvät mm. energialaskentaan, mittauksiin ja rakennusautomaatioon. Luvussa 6 on lyhyt visio toimivuuden varmistamiseen liittyvistä uusista menetelmistä ja tulevaisuuden mahdollisuuksista. Luvussa 7 on julkaisun yhteenveto.

Käsikirjassa ei käsitellä rakennusten järjestelmiä, joilla ei ole oleellista vaikutusta energiatehokkuuteen ja sisäolosuhteisiin. Tämä rajaus johtuu tutkimushankkeen keskittymisestä rakennusten energiatehokkuuden ja sisäolosuhteiden varmistamiseen. ToVa-toiminnan periaatteet soveltuvat pääpiirteissään myös muiden järjestelmien ja laitteiden toimivuuden varmistamiseen, mikä edellyttää kuitenkin täydentävää järjestelmäkohtaista tarkastelua.

Käsikirjan liitteessä A olevat tarkistuslistat on tarkoitettu rakennushankkeen ToVa-toiminnan vetäjän käyttöön. Niiden avulla voidaan laatia hankekohtaisia ToVa-suunnitelmia ja yksityiskohtaisempia tarkistuslistoja ja apuvälineitä. Tarkistuslistoja laadittaessa ei ole huomioitu eri rakennustyyppien erityispiirteitä tai eri käyttötarkoituksia.

1.2 Toimivuuden varmistuksen määrittely

Rakennusten toimivuuden kehittäminen ja varmistaminen on keskeinen kansainvälinen tutkimus- ja kehittämisteema. Tämä on havaittu, kun Commissioning-tutkimushankkeen puitteissa on osallistuttu teeman kansainvälisiin yhteistyöseminaareihin.

Englanninkieliselle ”Commissioning”-termille ei ollut aikaisemmin valmista suomalaista vastinetta. Tämä johtunee siitä, että englanninkielinen termi ”Commissioning” on saanut paljon aikaisempaa laajemman merkityksen viimeisen kymmenen vuoden aikana. ”Commissioning”-käsitteellä tarkoitettiin aiemmin toimenpiteitä, joilla valmiiksi tehty rakennus järjestelmineen otettiin käyttöön säätöjen, toimintakokeiden ja hyväksyntöjen avulla (Glossary Building and civil engineering terms. 1993). Vastaava rajattu merkitys käsitteelle on ollut myös suomen kielessä.

Laatujohtamisen käytäntöjen kehittyessä huomattiin, että tuotteiden laatua, virheettömyyttä ja toimivuutta on mahdoton saavuttaa panostamalla vain valmistuksen jälkeisiin tarkastus- ja korjaustoimiin. On mentävä kehittämään ja varmistamaan kaikkia niitä prosesseja, jotka liittyvät tuotteen tavoiteasetteluun, suunnitteluun, hankintoihin, valmistukseen, kokoonpanoon, käyttökokeisiin ja luovutustarkastuksiin.

Nykyaikaisessa merkityksessä rakennusten **toimivuuden varmistaminen** on prosessi, joka käynnistetään jo rakennushankkeen tavoitteita asetettaessa: *tarkistetaan tilaajan vaatimuksien ja käyttäjien tarpeiden kattavuus, rakennuksen suunnitelmat ja niiden toteutus sisältäen sisäilmasto- ja energiatehokkuusvaatimukset, auditoidaan osapuolien ratkaisut ja toimenpiteet ja todennetaan, että rakennus saavuttaa asetetut energiatehokkuus- ja toimivuustavoitteet käytössä. Toimivuuden varmistaminen jatkuu suunniteltuina säännöllisinä varmistustoimina kiinteistön käytön ajan.*

Toimivuuden varmistaminen täydentää rakennushankkeiden laadunvarmistusprosesseja. Suomessa 1980-luvun lopulla alkaneen laatujärjestelmien kehitystyön tuloksena useimilla yrityksillä on nykyisin dokumentoidut laatu- ja toimintajärjestelmät ja usein myös järjestelmäsertifikaatit. Laatu- ja toimintajärjestelmien kehittämisessä painotettiin yrityskohtaisten laatu- ja toimintakäytäntöjen kehittämistä ja dokumentointia. Rakennusten toimivuutta ja energiatehokkuutta ei korostettu aikaisemmassa laadunkehitystyössä.

Toimivuus- ja energiatehokkuusnäkökulmat tuovat laadunvarmistukseen merkittävän tuotepainotuksen. Rakennusten tulee olla tilaajan ja käyttäjien kannalta toimivia, muutostajavia ja elinkaaritaloudellisia. Toimivuuden varmistamisessa ensimmäisenä tehtävänä on tarkistaa, että toimivuus ja energiatehokkuus sisältyvät oleellisena osana hankkeen tavoitteisiin.

Toimivuudella ja energiatehokkuudella on runsaasti keskinäisiä riippuvuuksia. Keskeinen näkökulma toimivuuden varmistusprosessissa on eri järjestelmien integrointi toimimaan yhdessä. Energiatehokkaan rakennuksen tuottaminen ei ole ongelma. Vastavasti voidaan suunnitella rakennus, joka sisältää kaikki tarjolla olevat uusimmat tekniset järjestelmät. Projektioorganisaatioille on merkittävä haaste saada energiatehokkuus ja hallitut hyvät sisäolosuhteet toteutumaan samanaikaisesti.

Lisäämällä esim. ikkunoiden pinta-alaa saadaan enemmän luonnonvaloa rakennukseen. Tämä lisää sisään tulevaa auringonsäteilyä, joka kasvattaa kesällä jäähdytystarvetta. Suuret ikkunapinnat voivat aiheuttaa myös vedontunnetta talvella. Rakennuksen järjestelmät vaikuttavat toisiinsa, ja niiden suunnittelu ja virittäminen toimimaan hyvin yhdessä eri vuodenaikoina ja eri kuormituksilla ei ole kaikkein yksinkertaisimpia tehtäviä. Tässä yhteistyössä tarvitaan eri alojen suunnittelijoiden, urakoitsijoiden ja toimittajien osaamispanoksia.

1.3 Hyötypotentiaali rakennusten toimivuuden ja energiatehokkuuden varmistamisessa

Sisäilmaston parantamisen hyödyt

Huonon sisäilmaston aiheuttamiksi kustannuksiksi on vuonna 1997 arvioitu Suomessa 1,5...3 miljardia euroa (Seppänen & Palonen 1997). Luku on suurempi kuin vuotuiset rakennusten lämmityskustannukset maassamme. Myös muualla tehdyt kansantaloudelliset tutkimukset osoittavat, että sisäilmaston parantamisella voidaan saavuttaa suuria taloudellisia hyötyjä (Fisk 2000, Mendell et al. 2002). Arvioissa on huomioitu mm. sisäilmastoon liittyvät allergiset sairaudet, tupakansavun ja radonin aiheuttamat syöpätapaukset, huonon sisäilmaston aiheuttaman työtehon laskun kustannukset, lisääntyneet sairauspoissaolot, ennenaikainen eläköityminen, sisäilman kautta levinneet sairaalainfektiot sekä kosteusvaurioihin liittyneet oireet ja sairaudet.

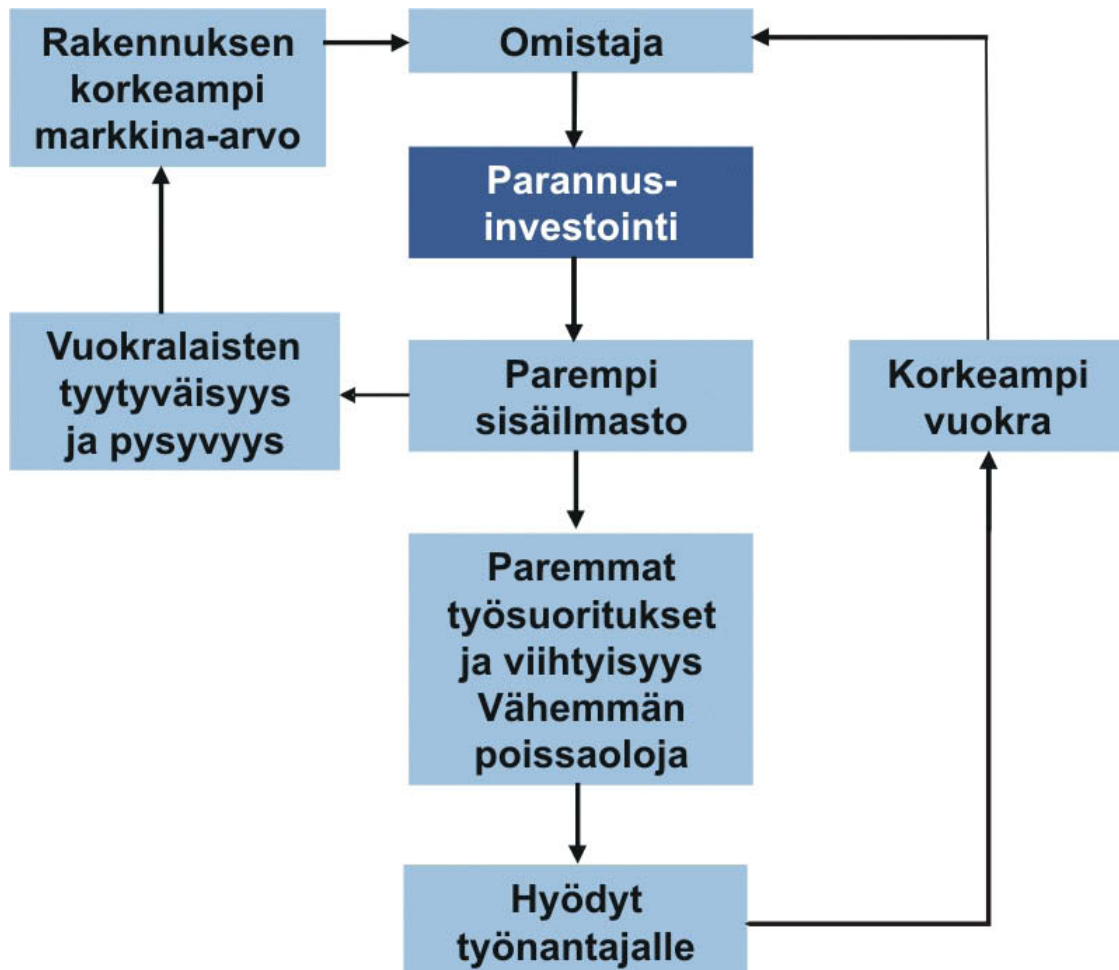
Taloudellisuusarvioita laadittaessa rakennuksen suunnitteluvaiheessa otetaan yleensä huomioon vain hankinta-, energia- ja hoitokustannukset. Tutkimukset ovat kuitenkin osoittaneet, että myös hyvä sisäilmasto voi olla merkittävä lisäarvo, kun otetaan huomioon sen terveysvaikutukset ja tuottavuushyödyt (Seppänen & Vuolle 2000, Tuomainen et al. 2002). Seikkoja, joihin kannattaa tällöin kiinnittää huomiota, ovat mm.

- sopivat huonelämpötilat ja sopiva ilmanvaihdon määrä
- ilmastointilaitteiden ja -kanavien puhtaus
- huoneiden siivous ja kiinteistönhoito
- sisäilmastotekijöiden säädettävyys

- tupakan savun ja toimistolaitteiden päästöjen leviämisen esto
- valaistuksen riittävyys ja häikäisy estäminen
- sopivat akustiset olot.

Hyvästä sisäilmastosta hyötyvät kaikki osapuolet (Kuva 1):

- työntekijä: viihtyvyys kohenee ja oireet ja sairaudet vähenevät
- työnantaja: työsuoritusten paraneminen, sairauspoissaolojen väheneminen ja viihtyvyyden kohoneminen
- kiinteistön omistaja: korkeammat vuokrat, vuokrattavuuden paraneminen ja kiinteistön pitkäaikaisen arvon säilyminen
- kiinteistöhoitoyritys: bonusten tai toteutumattomien sanktioiden kautta suurempi palkkio, kiinteistöhoitoalan arvostus nousee
- yhteiskunta: pienemmät terveydenhoitokustannukset.



Kuva 1. Paremmasta sisäilmastosta syntyy hyötyjä sekä työnantajalle että rakennuksen omistajalle (Seppänen 2004).

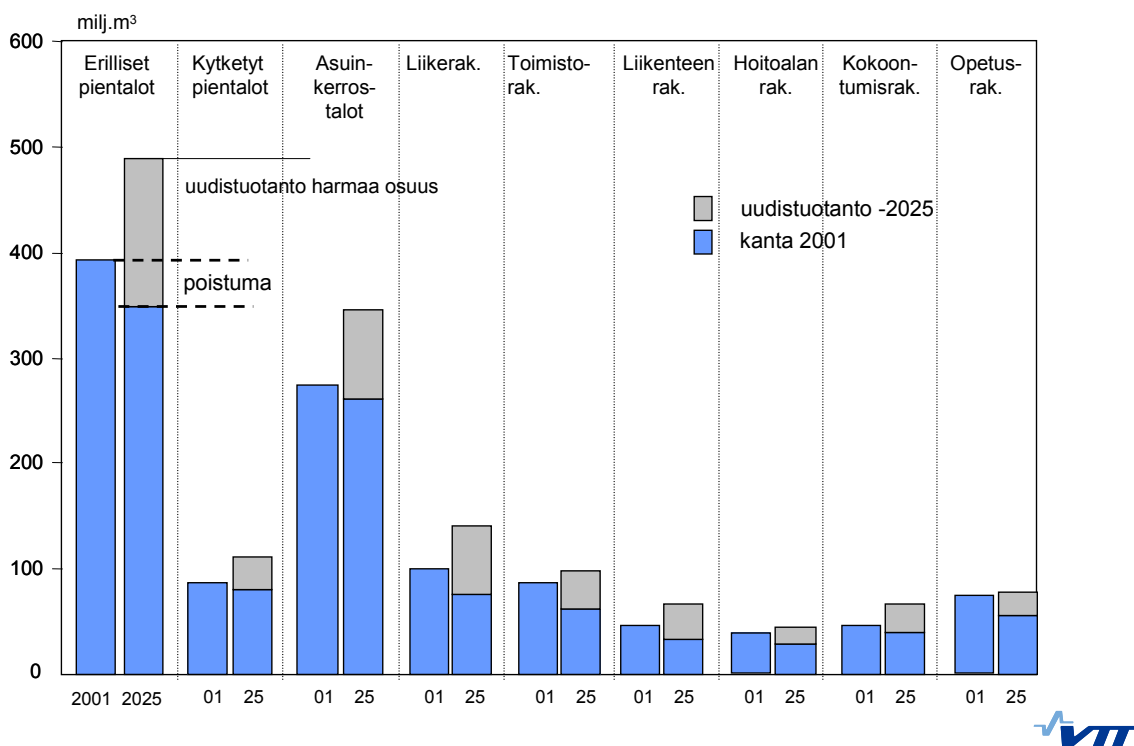
Energiansäästöön hyötypotentialiaali rakennuskannassa

Suomen rakennuskanta oli vuonna 2000 kooltaan noin 1830 milj. m³ (Heljo et al. 2005). Julkaisun mukaan vuonna 2010 rakennuskannan tilavuuden on arvioitu olevan lähes 2000 milj. m³ ja talonrakentamisen uudistuotannon määrä on vuosittain suhteessa rakennuskantaan n. 1,5–2 prosenttia. Rakennuskannan tilavuus kasvaa poistuma mukaan lukien vuosittain 0,5–1,0 prosenttia (10–20 milj. m³). Asuin- ja palvelurakennusten osuus koko rakennuskannan tilavuudesta on n. 65 %, mutta niiden osuus koko rakennuskannan energiankulutuksesta on suurempi eli n. 75 %.

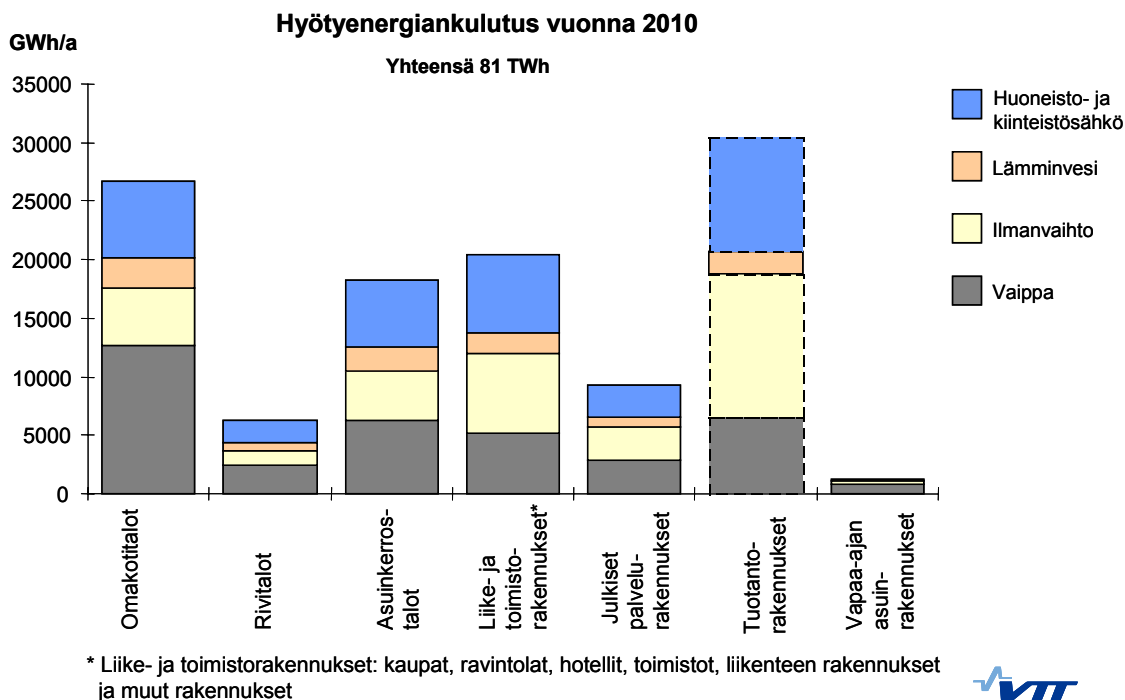
Rakennuskannan osuus energian loppukäytöstä Suomessa on lähes 40 %. Rakennuskannan koon kasvu ja laatutason paraneminen tulevat lisäämään energiankulutusta enemmän kuin poistuvaa rakennuskantaa energiatehokkaampi uudistustoiminto ja energiansäästötoimenpiteet sitä vähentävät.

Kuvissa 2 ja 3 esitetään rakennuskannan jakauma ja arvioitu jakauma v. 2001 ja 2025 sekä arvioitu hyötyenergiankulutus v. 2010.

Kanta talotyypeittäin 2001 ja 2025 (+ uudis - poistuma)



Kuva 2. Asuin- ja palvelurakennusten rakennuskannan määrä vuosina 2001 ja 2025 talotyypeittäin. Vuoden 2025 pylväässä harmaana näkyy uudistuotannon määrä. Vuosien 2001 ja 2025 sinisten pylväiden erotus kuvaa poistuman määrää.



Kuva 3. Hyötyenergian kulutukset talotyypeittäin v. 2010. Tuotantorakennusten ja vapaa-ajan rakennusten osalta arvio on huomattavasti epävarmempi kuin muiden rakennusten osalta.

Kuntaliiton julkaiseman kulutustilastoraportin mukaan (Ruokojoki 2005) 5 %:n säästö lämmityksessä merkitsee pelkästään kuntien koko rakennuskannassa lähes 10 miljoonaa euroa vuodessa. Sähkön osalta vastaava säästö on suuruusluokaltaan arviolta 10–15 miljoonaa euroa. Hiilidioksidipäästöjen kannalta 5 %:n tehostaminen energiankäytössä parantaa ekotehokkuutta noin 2 000 hiilidioksiditonnin vähentymällä. Sähkön säästö johtaa saman suuruusluokan hiilidioksidipäästöjen pienenemiseen. Kuntien rakennuskannan energiankulutus on noin puolet kuntien koko oman toiminnan energiankulutuksesta. Kuntien toiminnan energiankulutus on suuruusluokaltaan alle kymmenesosa koko Suomen energiankulutuksesta.

Kuntien kulutustilastoraportin mukaan julkisten rakennusten sähkön ominaiskulutus on noussut 30 % vuodesta 1994 ja julkisten rakennusten lämmön ja sähkön yhteenlaskettu ominaiskulutus on vuodesta 1997 vuoteen 2004 noussut lähes 9 %. Ominaiskulutuksen nousuun ovat vaikuttaneet seuraavat tekijät:

- Julkisten rakennusten, kuten koulujen, käytön tehokkuus on kasvanut (iltakäyttö).
- Kosteus- ja homevaurioiden välttämiseksi ilmanvaihtoa on kauttaaltaan lisätty.
- Osasyynä voi olla kiinteistönpidon uudelleenorganisointi: käyttäjien asettaminen vuokralaisen asemaan, jolloin sisäisessä vuokrassa ei aina ole riittävästi palkittu aktiivisuutta energiansäästöissä.

- Peruskorjausten yhteydessä sähkön ominaiskulutus nousee varustelutason kasvaessa esim. jäädytyksen lisäämisen takia.

ToVa-toiminta aiheuttaa myös lisäkustannuksia. Kustannuksia voidaan verrata rakennusten vuotuisiin energiakustannuksiin ja rakennuskustannuksiin. **Voidaan arvioida, että mikäli laadun ja toimivuuden varmistamiseen investoidaan n. 0,5 % rakennuskustannuksista, ToVa-toiminnasta aiheutunut lisäkustannus jää yhden vuoden käytönaikaisten energiakustannusten alapuolelle.**

Liitteessä H on laskentaesimerkki ToVa-prosessin kustannuksista ja saavutetuista hyödyistä. Laskelmat perustuvat hyvin toimivien rakennusten toteutuneeseen kulutukseen. Rakennuskustannuksiin verrattuna realistiset toimivuuden varmistuksesta ja laadunvalvonnasta aiheutuvat lisäkustannukset ovat arviolta enimmilläänkin < 1 % investointikustannuksista. Mikäli tällä tavoin saadaan energiakustannukset ja olosuhteet riittävän hyvin hallintaan, takaisinmaksuaika on luokkaa < 5 v.

Amerikkalaisessa tutkimuksessa (Mills et al. 2004) esitetään toimivuuden varmistusmenettelyn vaikutuksia, etuja ja haittoja. Tutkimuksessa analysoitiin 224 erityyppistä julkista rakennusta, joista uusia rakennuksia oli 27 % ja olemassa olevia rakennuksia 73 %, yhteensä 30,4 milj. ft² (n. 2,8 milj. m²). Saavutettujen energiansäästöjen mediaani olemassa olevissa rakennuksissa (keskiluku = puolet arvoista yli ja puolet alle ko. arvon) oli 15 % eli n. 2,5 €/m².

Takaisinmaksuajan mediaani oli 0,7 vuotta (0,2–1,7 vuotta). Uusien rakennusten toimivuuden varmistuskustannukset (mediaani) olivat 0,6 % (0,3–0,9 %) kokonaisrakennuskustannuksista. Takaisinmaksuajan keskiluku oli 4,8 v ja ToVa-kustannusten keskiluku oli n. 9 €/m². Nämä luvut sisältävät pelkästään suorat energiavaikutukset. Mikäli muiden vaikutusten arvo otetaan huomioon, kustannustehokkuus kasvaa merkittävästi.

Tulosten perusteella amerikkalaisessa tutkimuksessa todetaan, että toimivuuden varmistusmenettely on yksi kustannustehokkaimmista keinoista, joilla voidaan parantaa energiatehokkuutta ja saavuttaa kansalliset energiansäästötavoitteet.

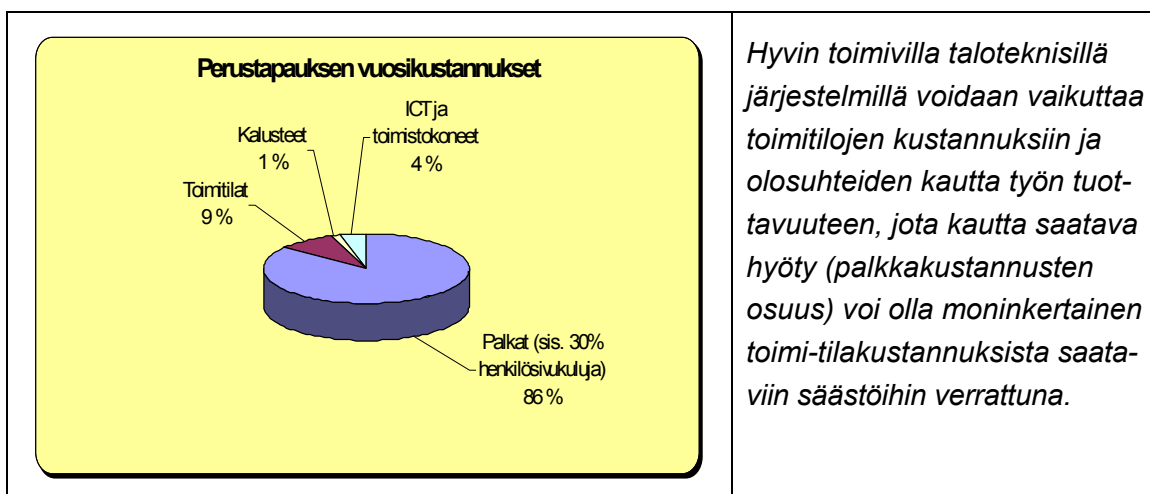
Liitteessä H esitetyt laskelmat ovat yhdenmukaisia tässä amerikkalaisessa julkaisussa esitettyjen lukujen kanssa. Esimerkkilaskelmissa on tarkasteltu vain 5–10 % ylityksen vaikutusta suunniteltuun verrattuna. Toteutunut energiankulutus voi kuitenkin ylittyä 20–30 % suunniteltuun verrattuna, mikäli rakennusta ei käytetä asianmukaisella tavalla tai taloteknisten järjestelmien ja vaipan toimivuudessa on puutteita.

Käytössä oleva energiakatselmuksenmenettely koskee pääosin jo olemassa olevia rakennuksia. EU:n energiatehokkuusdirektiivi ja sen toteuttamiseksi hyväksytty ja vuoden

2008 alussa voimaan tuleva kansallinen lainsäädäntö edellyttävät energiatodistuksen laatimista rakennuksille. Käytännössä tämä merkitsee nykyistä tarkempaa energiankäytön ja -kulutuksen huomioonottamista sekä uudisrakennushankkeissa että olemassa olevassa rakennuskannassa. Toimivuuden varmistusmenettelyllä voidaan tähän liittyvät uudet toiminnot yhdistää osaksi ToVa-toimintamallia. Pitemmällä tähtäimellä toimivuuden varmistamisella saavutetaan näin merkittävää kokonaistaloudellista hyötyä.

Samalla täytyy myös painottaa sitä, että energiatehokkuus ja olosuhteet ovat vain yksi osa rakennuksiin ja rakennettuun ympäristöön liittyvistä tekijöistä: toimivuuden varmistusmenettely on yksi osa rakentamisprosessia, johon liittyvät myös tilankäyttö-, laatu-, ympäristö- ja elinkaarikysymykset.

Kuvassa 4 on esimerkki (Nissinen 2003) toimistorakennuksen kustannusmallista eli perustapaus, jossa laskentakorko on 10 % ja pitoajat ovat seuraavat: rakennus 40 vuotta, kalustus 15 vuotta, ICT & toimistokoneet 5 vuotta.



Kuva 4. Toimistorakennuksen kustannusmalli.

Toimistorakennuksissa toimitilakustannusten (sisältäen rakennus- ja käyttökustannukset) osuus tietotyötä tekevien organisaatioiden kokonaiskustannuksista on 10 %, kun kokonaiskustannuksissa otetaan huomioon palkat, tilakustannukset ja kalustuksen sekä ICT- ja toimistokoneiden kustannukset.

Energiatehokkuuden parantaminen alentaa toimitilakustannuksia. Olosuhteiden parantaminen vaikuttaa mahdollisten poissaolojen vähentymisen ja työviihtyvyyden parantumisen kautta työn tuottavuuteen, jolloin saavutettava kustannushyöty on merkittävä.

Eri teollisuuden aloilla kiinteistönhallinta- ja energiakustannukset voivat olla luokkaa 1–2 % liikevaihdosta. Hotelli- ja kiinteistöjen osalta kiinteistönhallinta- ja energiakustannukset

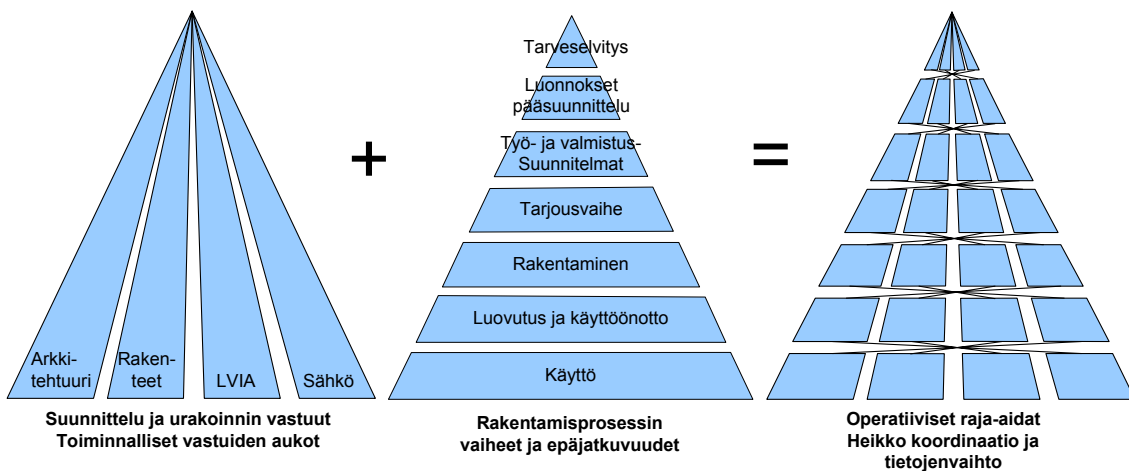
nukset voivat olla luokkaa 10–15 %. Kun näitä kustannuksia verrataan katteeseen, niiden osuus voi olla 10–50 %. Tällöin energiatehokkuuden lisääminen parantaa vastaavalla osuudella tulosta, ja olosuhteita parantamalla voidaan saavuttaa vielä merkittävämpiä hyötyjä. Palvelurakennuksissa, kuten hotelleissa ja kaupoissa, hyvät sisäilmaolosuhteet vaikuttavat työntekijöiden tuottavuuden lisäksi myös asiakasviihtyvyyteen ja sitä kautta parempaan tulokseen.

1.4 Toimivuusvastuun hajanaisuus rakennushankkeissa

Toimivuuteen ja energiatehokkuuteen liittyvät vastuut hajaantuvat rakennushankkeessa lukuisille eri osapuolille. Rakennusten suunnittelu jakautuu normaalisti liki kymmenelle eri alan suunnittelijalle ja nämä suunnittelijat työskentelevät yleensä eri suunnittelutoimistoissa. Rakennustöitä ja asennuksia tekevät työmaalla eri urakoitsijaryitykset. Talo- teknisten järjestelmien kokonaistoimitukset ovat harvinaisia ja urakoitsijoiden hankinnat hajaantuvat edelleenkin suurelle joukolle eri tuote- ja laitetoimittajia.

Jatkuvat tilaaja-toimittajasuhteet ovat rakentamisessa harvinaisia. Suunnittelijat valitaan hankekohtaisesti ja saman suunnittelijaryhmän työskentely useissa peräkkäisissä hankkeissa on harvinaisen poikkeus. Tilajaat kilpailuttavat urakoitsijat hankekohtaisesti, mikä merkitsee epäjatkuvia alihankintasuheteita. Rakennuksen toimivuuden ja energiatehokkuuden kannalta vastuunjaon hajanaisuus on merkittävä ongelma. Rakennushankeprosessien pirstaloitumista havainnollistetaan kuvassa 5.

Pirstaloitunut rakentamisprosessi



Kuva 5. Rakennushankkeen prosessi hajaantuu lukuisiin osa-alueisiin, mikä merkitsee myös hajanaista toimivuusvastuuta (Lee Siew Eang 2005).

Keskeinen toimivuuden ja energiatehokkuuden varmistamiseen liittyvä havainto monista hankkeista ovat epäselvästi dokumentoidut tavoitteet. Hankeasiakirjoissa esitetään paljon yksityiskohtaista tietoa. Kuitenkin jälkikäteen on monissa hankkeissa hyvin vaikea löytää alkuperäisiä dokumentoituja tilaajan vaatimuksia ja suunnittelutavoitteita tai niihin mahdollisesti tehtyjä muutoksia. Tämä hankaloittaa rakennuksen energiankulutuksen ja olosuhteisiin liittyvän mittausdatan arviointia rakennusta käytettäessä.

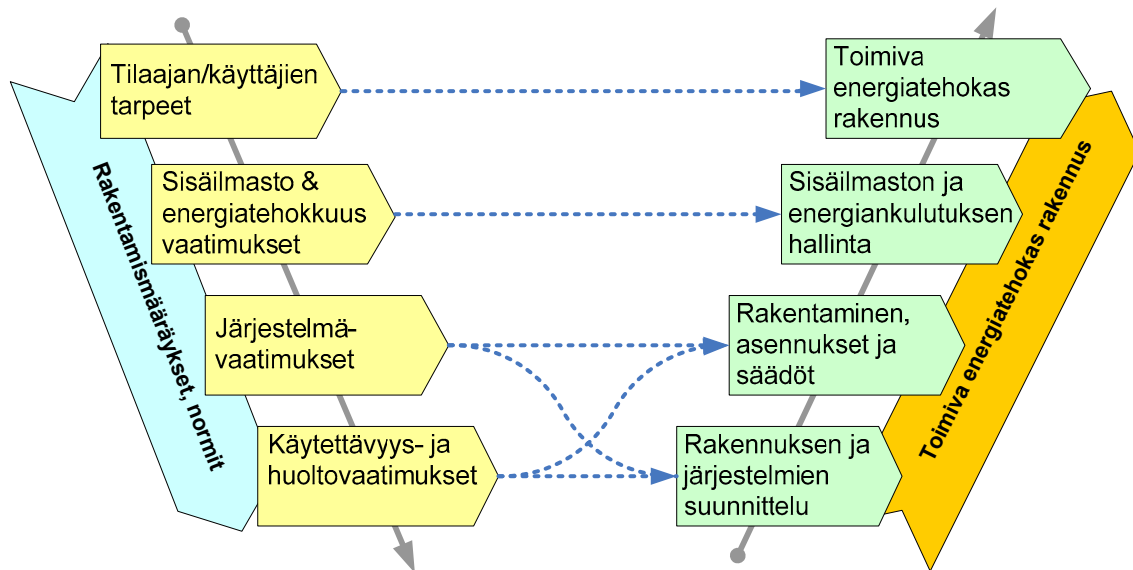
Eri puolilla maailmaa on tultu viime vuosina johtopäätökseen, että toimivuuden varmistamiseen liittyvät toimenpiteet on tarpeellista aloittaa jo hankkeen tavoitteenasettelun yhteydessä ja toteuttaa niitä läpi rakennushankkeen laadunhallinnan yleisten periaatteiden mukaisesti. Tämä toimintamalli kokoaa hajanaisen hankeprosessin osapuolet työskentelemään yhteisen tavoitteen saavuttamiseksi.

2. Toimivuuden varmistamisen systematiikka ja prosessi

2.1 Lähtökohdat

Rakennuksien suunnittelu ja rakentaminen edellyttää systemaattista tavoitteiden ja vaatimusten määrittely- ja dokumentointiprosessia läpi hankkeen kaikkien päävaiheiden. Tilaajan ja käyttäjien toiminnasta ja kannanotoista johdetaan tarpeet tilojen määrälle, laadulle ja sisäilmastolle (Kuva 6). Tarvemäärittely ei kuitenkaan tuota suoraan suunnittelutavoitteita, koska tarvetta käsitellään aluksi ”tilaajan ja käyttäjien käsitteillä”.

Tarvemäärittelyn perusteella täsmennetään sisäilmasto- ja energiatehokkuusvaatimukset. Niihin sisältyy myös rakentamismääräysten kautta tulevia tavoitteita ja reunaehtoja. Rajauksia tavoitteisiin tulee myös rakentamiskaavan asemakaavasta. Sisäilmasto- ja energiatehokkuusvaatimukset kohdistetaan rakennukselle, tiloille ja järjestelmille. Rakennus jaetaan kattavasti eri järjestelmiin, joita ovat mm. vaippa, ilmastointi, lämmitys, vesi ja viemärinti, salaojitus, sähkön jakelu, valaistus, tietoliikenne ja automaatio sekä turva- ym. järjestelmät.



Kuva 6. Tavoitteiden ja vaatimusten asettaminen, tarkentaminen ja dokumentointi hankkeen jokaisessa vaiheessa ovat toimivuuden varmistuksen periaatteita.

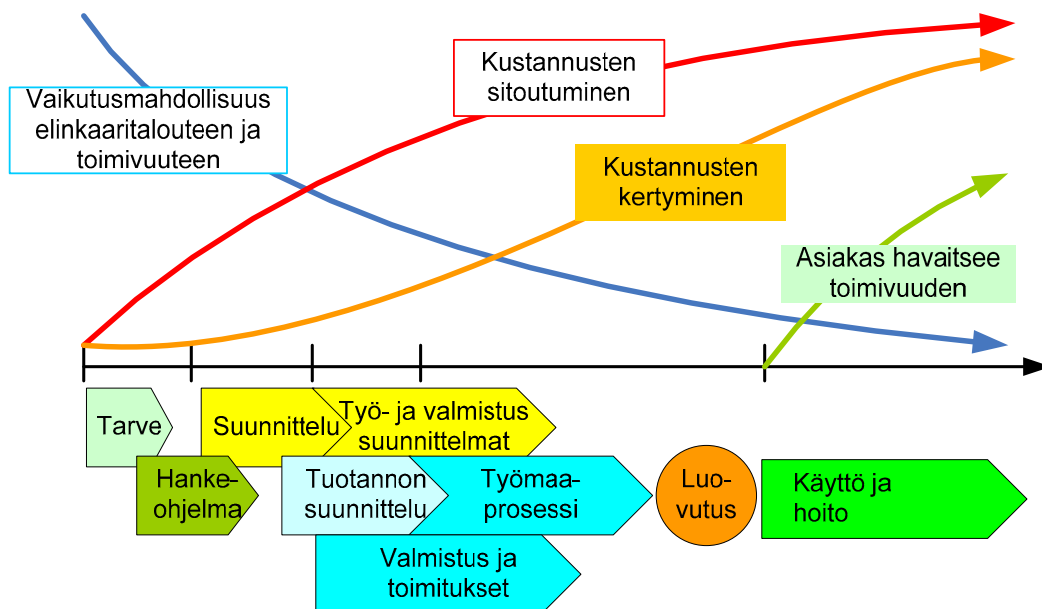
Järjestelmiin kohdistuvien suunnittelutavoitteiden perusteella suunnittelijat tuottavat aluksi muutamia potentiaalisia vaihtoehtoja, jotka täyttävät tilaajan sisäilmasto- ja energiatehokkuustarpeet. Yhteistyössä tilaajan kanssa valitaan toimivuudeltaan ja taloudellisesti soveltuvimmat vaihtoehdot jatkosuunnitteluun.

Rakennukset suunnitellaan ja rakennetaan omistajan ja käyttäjien käyttötarpeita varten. Suunnittelutavoitteita asetettaessa ja suunnittelun aikana rakennuksen sisäilmasto ja rakennuksen tarjoamat palvelut ovat ensisijainen tavoite. Energiatehokkuus on oleellinen täydentävä tavoite. Suunnittelustrategiassa voidaan kuitenkin edetä usealla eri tavalla. Voidaan esim. hankea ensin parasta sisäilmastoa ja sen puitteissa energiaterhokkuutta. Toinen strategia on käyttää vain energiaterhokkaita ratkaisuja samalla, kun rakennus suunnitellaan tilaajalle ja käyttäjille sisäilmaston osalta tyydyttäväksi.

Osana järjestelmävaatimuksia ovat käytettävyys ja huolto- ja kunnossapitovaatimukset. Rakennukset suunnitellaan ja rakennetaan kuitenkin usein ilman kiinteistöhoitajien osallistumista prosessiin. Kiinteistön hoito-organisaatiota ei ole kaikissa hankkeissa valittu vielä suunnitteluvaiheessa, mikä helposti johtaa käyttö- ja ylläpitovaiheen näkökohtien aliarviointiin.

Vaatimusten ja tavoitteiden hallinta on läpi hankkeen etenevä prosessi. Hankkeen eri vaiheissa asetettujen tavoitteiden ja mahdollisten tavoitteiden muutosten on oltava nopeasti käytettävissä. Tavoitteiden ja vaatimusten läpinäkyvyys mahdollistaa toteutuksen varmentamisen siten, että asetetut tavoitteet voidaan osoittaa saavutetuiksi ja havaita mahdolliset poikkeamat.

Laatuun ja elinkaarikustannuksiin vaikutetaan tehokkaimmin hankkeen alkupäässä (Kuva 7). Sama periaate soveltuu myös toimivuuden varmistukseen. Ongelmien syntymistä etukäteen estävät toimenpiteet vähentävät jälkikäteen tehtäviä korjauksia. Tuloksena on kiinteistön käytettävyyden paraneminen.



Kuva 7. Kustannusten kiinnittyminen ja elinkaaritalouteen vaikuttaminen. Suunnitteluvaiheessa toimivuusvikojen korjaaminen on edullista. Myöhemmin kustannukset ovat huomattavasti suuremmat.

2.2 ToVa-prosessi

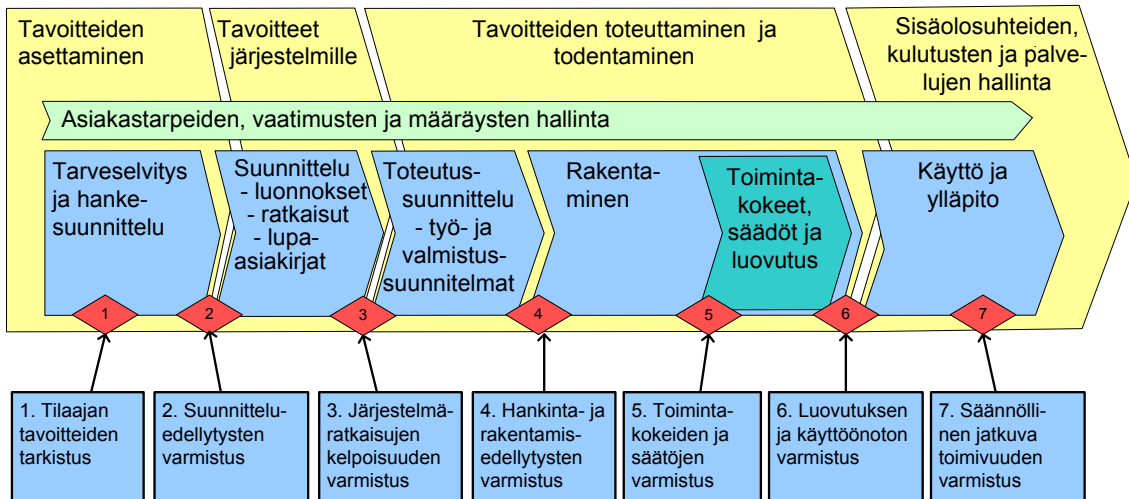
Rakennuksen toimivuuden varmistamisen prosessissa edetään päävaiheittain (Kuva 8). **ToVa 1** -vaiheen tehtävät tarve- ja hankesuunnittelussa painottuvat tilaajan ja käyttäjien tavoitteiden määrittelyyn ja tarkistamiseen, ToVa-organisaation kokoamiseen ja tehtävien budjetointiin.

Toinen tarkistus (**ToVa 2**) liittyy erityisesti suunnittelutavoitteisiin ja suunnittelun lähtötietoihin. Ne ovat myös suunnittelusopimusten laadinnan perusteita.

Kolmas tarkistus (**ToVa 3**) keskittyy suunnitteluratkaisuihin. Suunnitteluratkaisuilla on saavutettava tavoiteltu sisäilmasto ja energiatehokkuus. Tässä vaiheessa korostuvat vaihtoehtoiset ratkaisut, niiden vertailu asetettuja tavoitteita vasten ja järjestelmien välinen integrointi. Lopuksi tarkistetaan, että suunnitelmat ovat valmiit rakennusluvan hakemiseksi.

Neljännessä tarkistusvaiheessa (**ToVa 4**) varmistetaan, että työ-, valmistus- ja asennuspiirustukset työselityksineen ovat kunnossa urakkakyselyjä, hankintoja ja työmaata varten. Käytännössä detaljisuunnittelu liittyy merkittävästi hankintojen ja työmaan kanssa. Osa suunnittelusta voi tapahtua myös toimittajien ja urakoitsijoiden toimesta. Tarvittavia varmuuksia tehdään projektin koon mukaan jopa useiden kuukausien aikana. Oleellinen näkökulma on eri järjestelmien ja hankintojen keskinäinen integrointi. Rakentamisen kannalta sisäilmastoon ja energiatehokkuuteen liittyvien tavoitteiden on löydettävä helposti eri sopimus- ja suunnitteluasiakirjoista. Viimeistään tässä vaiheessa on myös päätettävä, millä mittareilla toimivuutta tullaan arvioimaan ja mitä fyysisiä mittauksia (instrumentointeja) varmistamisen toteuttaminen edellyttää.

Viidennessä vaiheessa (**ToVa 5**) pääpaino on loppukokeisiin, säätöihin ja luovutukseen valmistautumisessa. Eri urakoitsijoiden viimeistelyaikataulut ja yhteinen viimeistely- ja toimintakoesuunnitelma ovat keskeisiä asioita. Loppukokeiden ja säätöjen yhteydessä varmistetaan, että järjestelmät toimivat suunnitellulla tavalla ja niiden avulla saavutetaan haluttu sisäilmasto. Viimeistään tässä vaiheessa on tarkistettava myös luovutusasiakirjojen ja käyttö- ja huolto-ohjeiden sisältö (huoltokirja).



Kuva 8. ToVa-systematiikan prosessikuvauksen päätaso. Kuvan keskellä sinisellä kuvataan hankkeen eteneminen. Punaiset "salmiakit" ovat kriittisiä pisteitä, joissa edellytykset hankkeen hallitulle etenemiselle tulee varmistaa. Kuvan alalaidassa esitetään toimivuuden varmistamisen keskeiset alueet.

Ennen rakennuksen luovutusta (**ToVa 6**) tarkistetaan toimivuusvaatimusten täyttyminen ja se, että järjestelmät toimivat suunnitellulla tavalla. Yritysten normaalin laadunvarmistuksen keinoin pyritään havaitsemaan kaikki korjausta edellyttävät asennus- ja tuotevirheet. Toimivuuden tarkistus painottuu sisäilmastoon ja energiatehokkuuteen sekä siihen, että ylläpito-organisaatiolla on edellytykset järjestelmien oikeaan käyttöön. Tavoitteena on, että lopputarkistuksissa virheitä ja toimivuusvajeita ei enää löydy.

Kiinteistön käyttöön liittyviä toimenpiteitä (**ToVa 7**) suoritetaan suunniteltuina ajankohtina rakennuksen käytön aikana esim. huoltokirjan mukaisesti. Sisäilmastoon sekä energian- ja vedenkulutukseen liittyvät mittaustiedot, joita tuottavat mm. rakennusautomaatio- ja informaatiojärjestelmät, ovat siinä oleellisessa roolissa. Tarvittaessa kiinteistön kuntoa ja toimivuutta tutkitaan tarkemmin mittaamalla, katselmuksin tai kuntotutkimuksin. Viimeistään tässä vaiheessa varmistetaan, että kiinteistön kunnossapito- ja hoitohenkilöstöä on riittävästi perehdytetty kiinteistöön ja sen järjestelmiin.

ToVa-prosessissa keskeistä on edellä kuvattujen päävaiheiden välinen tiedonsiirto ja suoritettavien toimenpiteiden dokumentointi. Erityistä huomiota tulee kiinnittää myöhemmissä suunnitteluvaiheissa tai rakentamisen ja käytön yhteydessä mahdollisesti tehtäviin muutoksiin ja niiden vaikutuksiin alkuperäisiin suunnitelmiin verrattuna. Onnistuneen ToVa-prosessin keskeinen edellytys on hyvin hoidettu dokumentointi ja kaikki hankkeen osapuolet huomioon ottava koko elinkaaren kattava tiedonhallinta.

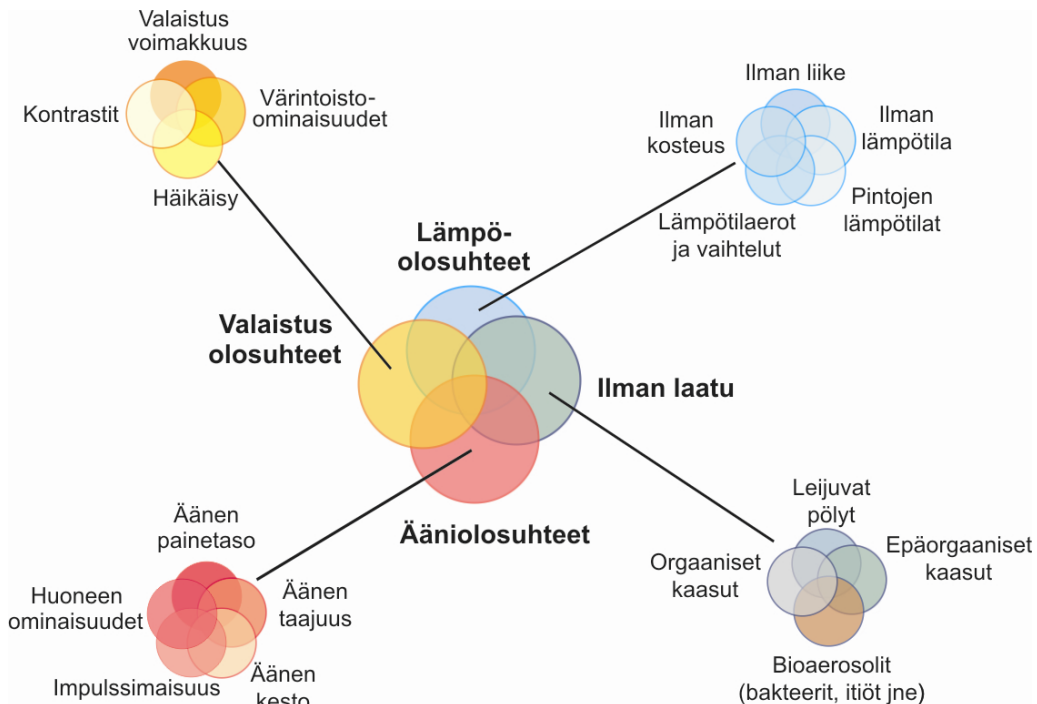
2.3 ToVa-toiminnan tavoitteet

Käytännössä rakennuksen suunnittelussa joudutaan aina ottamaan huomioon lukuisia erilaisia ja eri intressiryhmien tavoitteita, jotka voivat olla myös keskenään ristiriitaisia. Lisäksi lainsäädäntö, erilaiset määräykset ja paikalliset olosuhteet sekä taloudelliset resurssit asettavat reunaehdoja, joihin hanke on sovitettava. Poikkeuksetta kysymys onkin lukuisten eri tavoitteiden ja tekijöiden yhteensovittamisesta. Lopputulos on aina erilaisten tekijöiden kompromissi, jossa heijastuvat tilaajan arvostukset ja yhteiskunnan yleiset vaatimukset. Kuten luvussa 1 esitettiin, on energiatehokkuus ja hyvä sisäilmasto yleisesti todettu kaikkien osapuolten ja koko yhteiskunnan kannalta niin keskeisiksi tekijöiksi, että käsi-kirjassa on ensisijaisesti paneuduttu niiden varmistamiseen liittyviin kysymyksiin.

Sisäilmasto

Kuvassa 9 esitetään sisäilmaston osa-alueet. Seuraavassa luetellaan toiminnan kannalta tärkeimmät tekijät:

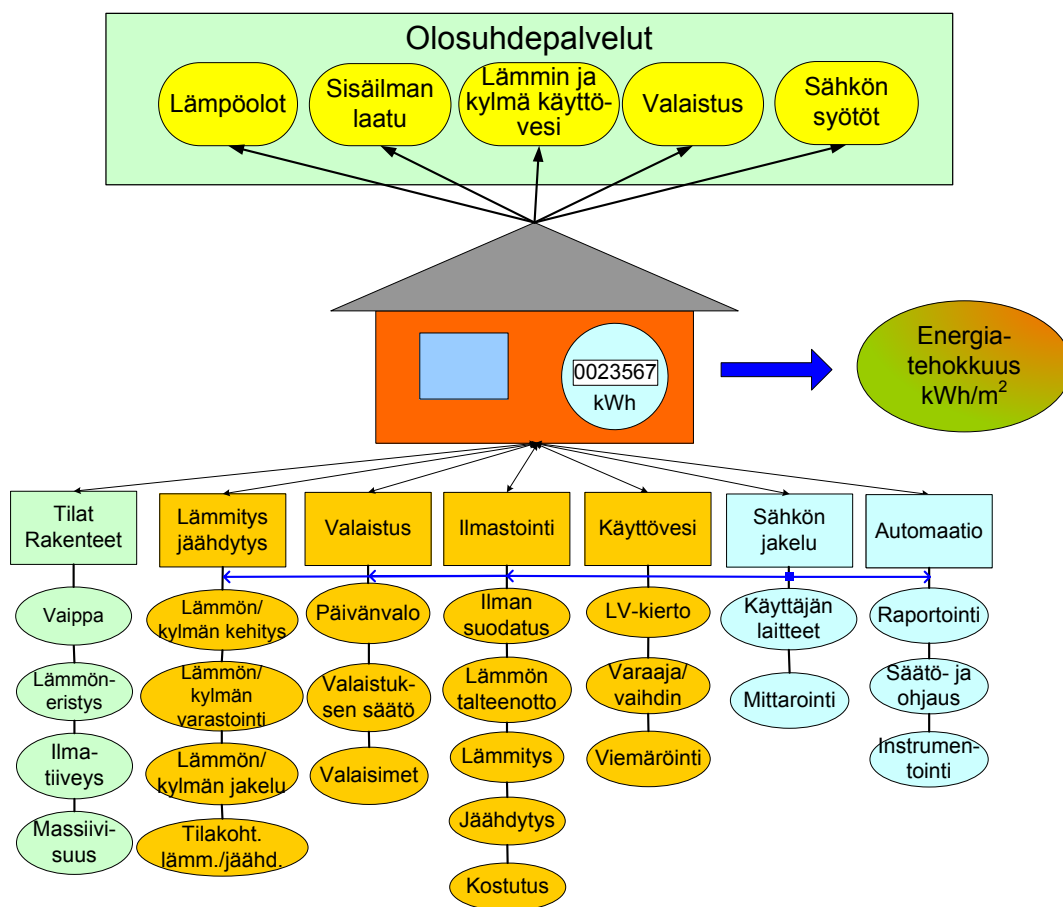
- sisälämpötila
- ilman puhtaus / ilmassa olevat haitalliset epäpuhtaudet
- ilman liike (veto)
- ilman kosteus
- äänen painetaso
- valaistusvoimakkuus.



Kuva 9. Sisäilmaston osa-alueet.

Energiatehokkuus

Halutun sisäilmaston saavuttaminen edellyttää Suomen ilmastossa aina sekä lämpö- että sähköenergian käyttöä. Erityisesti globaalit ilmasto-ongelmat, huoli fossiilisten polttoaineiden riittävyydestä ja energian hinnan kohoaminen ovat nostaneet energiatehokkuuden pysyvästi yhdeksi rakennusten keskeiseksi vaatimukseksi. Energiatehokkuuden merkitystä korostaa myös vuoden 2008 alussa voimaan tuleva rakennusten energiatodistusta koskeva lainsäädäntö. Energiatehokkuuteen ja sisäilmastoon vaikuttavat rakennuksessa useat eri tekijät, joita havainnollistaa kuva 10.



Kuva 10. Energiatehokkuuden ja sisäilmaston osatekijät.

Muut tekijät/vaativukset/ominaisuudet

Vaikka käsikirjassa keskitytään sisäilmastoon ja energiatehokkuuteen liittyviin kysymyksiin, on em. rajauksesta huolimatta toimivuuden varmistamisessa aina pidettävä mielessä myös muut hankkeen tavoitteet. Tällaisia ovat mm.

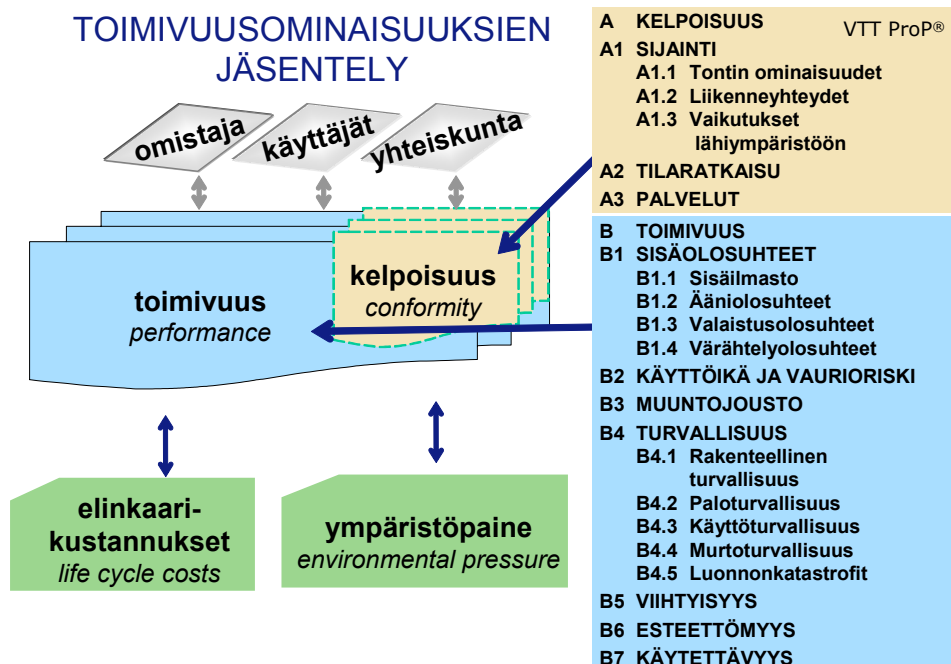
- rakennuksen arkkitehtuuri ja sopivuus kaupunkikuvaan
- tilaratkaisujen toimivuus

- turvallisuus
- käyttövarmuus
- muuntojoustavuus.

Keskeistä on myös, että tilaajaa tyydyttävät rakennuksen ominaisuudet saavutetaan optimaalisilla elinkaarikustannuksilla (investointi- ja käyttökustannukset). Käytännössä suunnitteluratkaisuja ja järjestelmävalintoja joudutaan aina sovittamaan käytössä olevien resurssien mukaan. Investointikustannusten lisäksi tulee aina tarkastella myös vaihtoehtojen hyöty- ja kustannusvaikutuksia koko hankkeen elinkaaren aikana.

Rakennushankkeen tavoiteasetannan moninaisuutta havainnollistaa kuva 11, joka on otettu VTT:ssä vaatimustenhallintaan kehitetystä EcoProP-ohjelmistotyökalusta. EcoProP perustuu hierarkkiseen ajatteluun, jossa eri rakennustyypeille laaditaan omia vaatimusjäsentelyjä. Vaatimusten jäsentely perustuu VTT:ssä kehitettyyn toimivuusominaisuuksien nimikkeistöön (VTT ProP).

Vastaavanlaisia vaatimustenhallinnan työkaluja alkaa olla käytössä myös alan yrityksillä ja suurimmilla rakennuttajilla. Työkalujen tarkoitus on varmistaa, että kaikki keskeiset tavoitteet ja vaatimukset tulevat huomioon otetuiksi. Samalla kyseisillä työkaluilla voidaan helpottaa ToVa-toiminnassakin hyvin keskeistä dokumentointia ja tiedonhallintaa. Vaatimusmäärittelyn laajuus osoittaa myös sen, että käsikirjan rajauksen ulkopuolelle jää lukuisa joukko tekijöitä, jotka on syytä tiedostaa ja ottaa myös jollakin tavalla huomioon. Yksityiskohtaisempi ohjeistus jää ko. tekijöiden osalta kuitenkin muiden hankkeiden varaan.



Kuva 11. EcoProPin käyttö ja sisältö.

Sisäilmaston ja energiatehokkuuden ToVa-toiminta

Toimivuuden varmistamisessa tärkeintä on huolehtia rakennuksen toiminnallisten tavoitteiden toteutumisesta. Tavoitteita ovat ensi sijassa hyvä sisäilmasto ja energiatehokkuus. Kuten taulukko 1 osoittaa, tavoitteiden toteutuminen riippuu useista järjestelmätason ja rakenneratkaisuista.

Taulukko 1. Sisäilmaston, energiatehokkuuden ja järjestelmien integraatiomatriisi.

	Sisäolosuhteet ja energiatehokkuus				
Rakennuksen järjestelmät	Lämpöolosuhteet	Sisäilman laatu	Valaistusolosuhteet	Äänolosuhteet	Käyttövesi
Rakennus ja tilat: laajuus ja ratkaisut	SE	SE	SE	S	
Vaippa	SE	SE	SE	S	
Ilmastointi ja jäähdytys	SE	SE		S	
Lämmitysjärjestelmä	SE	S			E
Vesi- ja viemärijärjestelmät	E	S		S	SE
Sähkönjakelujärjestelmä			SE		
Valaistusjärjestelmä	SE		SE		
Automaatiojärjestelmä	SE	S	SE		SE

S, S = vaikutus sisäolosuhteisiin (punainen vahva)
E, E = vaikutus energiatehokkuuteen (punainen vahva)

2.3.1 Rakennuksen energiatehokkuuden varmistus

Hanketasolla on kyse rakennuksen esim. bruttoalaa kohti lasketusta energiatehokkuusluvusta (ominaisenergiankulutuksesta, kWh/m²a), jossa tulisi erotella rakennusten energiatehokkuusdirektiivin hengen mukaisesti seuraavat tekijät:

- lämmitysenergia, jaoteltuna mahdollisuuksien mukaan huonetilojen, käyttöveden ja ilmanvaihdon lämmityksen energiankulutukseen
- sähköenergia, jaoteltuna mahdollisuuksien mukaan kiinteistö sähköön, (kiinteään) valaistussähköön ja muuhun sähköön
- koneellinen jäähdytysenergia, mikäli sitä käytetään.

Lämmitys- ja ilmanvaihtojärjestelmät tulee varustaa niin yksityiskohtaisilla lämpötilojen, tilavuusvirtojen ja laitteiden sähkönkulutusten mittauksilla, että mahdolliset rakennukseen ja sen järjestelmien energiatehokkuuteen vaikuttavat viat ja puutteet voidaan löytää.

Keskeisiä järjestelmätasolla mitattavia ja tarkistettavia asioita ovat mm.

- koneellisen ilmanvaihdon ulko- ja poistoilmavirrat
- poistoilman lämpötilat ennen ja jälkeen lämmön talteenoton
- valaistuksen sekä pumppujen ja puhaltimien sähkönkulutus
- lämmitysjärjestelmän meno- ja paluuveden lämpötilat
- energianlähteen (esim. kattila, lämpöpumppu) hyötysuhde
- lämpötilamittausten perusteella tehtävä arvio lämmitysjärjestelmän lämpöhäviöistä
- lämmitystehon riittävyys
- lämpimän käyttöveden ja yleensä veden riittävyys
- joidenkin/keskeisten tilojen sisälämpötilat.

Energiatohokkuuden vertailukohtina ovat

- vastaavanlaisten rakennusten ominaisenergiankulutuksen taso (vertaisanalyysi)
- suunnitteluvaiheessa tehtyjen energiankulutuslaskelmien tulokset: vertailussa täytyy ottaa huomioon mahdolliset suunnittelun ja todellisuuden väliset erot esim. säätiedoissa ja rakennuksen ja sen järjestelmien käyttötavoissa
- tyypilliset laitteiden ja järjestelmien energian ominaiskulutukset ja hyötysuhteet (esim. ilmanvaihtojärjestelmän ominaissähköteho eli SFP-luku [SFP, Specific Fan Power]).

Mittarointi kulutus- ja olosuhdeseurannan apuvälineenä

Rakennuksen energiankulutuksen seuranta ja energiatasetta sekä olosuhteiden hallintaa ei voida tehdä luotettavasti ilman asianmukaista instrumentointia. Tämän vuoksi on jo suunnitteluvaiheessa huolehdittava siitä, että keskeiset suureet mitataan ja tulokset siirretään rakennusautomaatiojärjestelmän tuottamaan tai muuten tehtävään käyttöraporttiin ja kulutusseurantaraporttiin. Tulokset on esitettävä sellaisessa muodossa, että kiinteistönhoidosta ja rakennuksen käytöstä vastaavat henkilöt saavat nopeasti ja yhdellä kertaa käsityksen energiankulutuksen tasosta, sisäolosuhteista ja mahdollisista poikkeamista tavoitearvoista. Erityisesti sähkönkulutuksen seuranta tulee kehittää nykyisestä. Ilman kulutusjakauman tuntemista ei myöskään voida arvioida säästöpotentiaalia, ilmeneviä vikoja ja poikkeamien syitä. Tämä vaatii myös muutoksia olemassa oleviin suunnittelu- ja asennuskäytäntöihin.

Käyttö- ja huolto-ohjeet kootaan kiinteistön huoltokirjaan, joka sisältää kiinteistön perustietojen lisäksi hoitoon, huoltoon, kunnossapitoon ja korjauksiin sekä rakennuksen järjestelmien ja laitteiden käyttöikäen liittyviä tietoja. Huoltokirja on työkalu kiinteistön elinkaaren hallintaan (RT 18-10713). Siihen tallennetaan kiinteistön olosuhde- ja kulutustavoitteet. Huoltokirjat ja muut kiinteistön hallinnassa ja hoidossa syntyvät tiedot tallennetaan jo yleisesti sähköisiin kiinteistötietojärjestelmiin.

Huoltokirjan teko täytyy aloittaa riittävän ajoissa. On tärkeää, että siinä on yksityiskohtaisten laitetietojen lisäksi yhteenveto rakennuksen sisäilmastoon ja energiatehokkuuteen vaikuttavista keskeisistä asioista ja niiden tavoitearvoista (esim. poistoilman lämpötila lämmön talteenoton jälkeen, lämmön ja sähkön ominaiskulutukset, keskeisten järjestelmien lämpötilatasot).

Rakennusten energiatehokkuuden varmistuksen tärkeimmät tehtävät ToVa-toimien vaiheissa 1–7 ovat seuraavat:

ToVa 1

Toimivuuden varmistussuunnitelman keskeisiä asioita 1. vaiheessa on, että omistaja tai rakennuttaja asettaa yksiselitteisen ja riittävän yksilöidyn rakennuksen energiatehokkuustavoitteen. Tämä sisältää mm. sen, että energiankulutus on jaoteltu riittävän pieniin osiin ja on eroteltu mm. lämmön ja sähkön kulutus. Myös muut energiankulutukseen, esim. sähkönkäyttöön, liittyvät tavoitteet tulee olla määritelty yksiselitteisesti. On myös hyvin tärkeää, että määritellään selkeästi, millä laskentamenetelmillä ja millaisilla lähtötiedoilla energiatehokkuustavoitteen toteutuminen suunnitellaan, varmistetaan ja todennetaan (esim. sää, sisäiset lämpöenergiat, ilmanvaihto).

Toimivuuden varmistussuunnitelman laatimisesta on annettava selkeä vastuu tietylle henkilölle tai organisaatiolle.

ToVa 2

Rakennusten energiatehokkuuden kannalta suunnitteluedellytysten varmistaminen tarkoittaa mm. seuraavia toimia:

- Suunnittelijoiden kanssa käydään läpi rakennusten energiatehokkuuteen vaikuttavat keskeiset asiat ja määritellään suunniteltavat ratkaisut tai suunnittelussa tutkittavat vaihtoehdot. Tällaisia ovat mm.
 - rakennuksen vaippa- ja runkorakenteet (lämmöneristys, lämpökapasiteetti, tiiveys)
 - ikkunoiden suuntaus, pinta-alat, ikkunatyypit ja mahdollinen aurinkosuojaus
 - ilmanvaihtojärjestelmien ja lämmön talteenottojärjestelmien periaatteet
 - mahdollinen jäähdytysjärjestelmä
 - energianlähde ja lämmönjakojärjestelmä
 - mahdollisuudet käyttää uusiutuvaa energiaa (aurinkolämpö, maalämpö, bioenergia)
 - luonnonvalon hyödyntäminen ja kiinteä valaistusjärjestelmä.

ToVa 3

Tässä vaiheessa hyväksytään rakennusta ja sen järjestelmiä koskevat yksilöidyt energiatehokkuustavoitteet. Lisäksi laaditaan rakennuslupahakemukseen liittyvä energiaselvitys ja sen sisältämä energiatodistus, joissa esitetään mm.:

- johtumisen ja ilmanvaihdon ominaislämpöhäviö (absoluuttisena ja lattiapinta-alaa kohti laskettuna)
- lämmityksen, jäähdytyksen, kiinteän valaistuksen ja muun sähkönkäytön energian ominaiskulutukset
- hyödynnettävä uusiutuva energia lämmityksessä, jäähdytyksessä ja sähkönkäytössä
- keskeisten laitteiden (poistoilman lämmön talteenottolaite, lämmityskattilat, lämpöpumput, jäähdytyskoneet, puhaltimet, valaisimet) energiatehokkuustavoitteet.

ToVa 4

Rakennusten energiatehokkuuden kannalta rakentamisen edellytykset varmistetaan seuraavilla toimilla:

- Rakentaminen on organisoitu ja aikataulutettu ja ToVa-toiminta on organisoitu järjestelmittäin (rakennus ja sen ulkovaippa ja tiiviys, lämmitys, lämmin vesi, ilmanvaihto, jäähdytys, sähkö, automaatio).
- Varmistetaan, että ToVa 1 -vaiheessa asetetut energiatehokkuustavoitteet voidaan todentaa (mitata) rakennuksesta. Tätä varten mittarointi on suunniteltava kattavaksi ja riittävän yksityiskohtaiseksi ja esim. sähkön jakeluverkko on ryhmiteltävä siten, että järkevä osakuormien ja -kulutusten mittaaminen on kohtuukustannuksin mahdollista.
- Varmistetaan, että rakennusosien ja laitteiden hankinnoissa on edellytykset sisäilmasto- ja energiatehokkuustavoitteiden huomioon ottamiseen.

ToVa 5

Rakennuksen käyttöönoton edellytykset varmistetaan seuraavasti:

- Vaipan lämmöneristävyys ja ilmatiiviys todetaan mittauksin.
- Tärkeimmille energiatehokkuuteen vaikuttaville laitteille ja rakennuksenosille tehdään toimintakokeet:
 - Lämmön talteenotto toimii tavoitteiden mukaan lämpötilamittausten perusteella.
 - Lyhytaikaisten (esim. viikko) mittausten perusteella energiantuotantolaitteiden hyötysuhde on riittävän suuri.
 - Puhaltimien ilman tilavuusvirrat ovat oikeat, ja sähkön ominaiskulutus on riittävän pieni.

- Lämmitysjärjestelmät toimivat suunnitellusti arvioituina järjestelmien lämpötilojen ja pumppujen ja puhaltimien sähkönkulutusten perusteella.
- Sisälämpötilat ovat suunnitellun mukaiset.

ToVa 6

Käyttö- ja ylläpitovaiheessa rakennuksen ja sen järjestelmien energiankulutusta seurataan vertaamalla mitattuja energiankulutuksia vastaavanlaisten rakennusten ominaiskulutuksiin sekä rakennuksen suunnitteluvaiheessa laskettuun energiankulutukseen. Jos rakennuksen tekniset ominaisuudet tai sen käyttö poikkeavat merkittävästi suunnitteluvaiheessa lasketusta, energiankulutuksen laskenta tulee korjata vastaamaan todellisen rakennuksen sisäilmasto-oloja sekä laitteiden ja järjestelmien todellista käyttöä ja tekniistä suorituskykyä. Sääkorjaus suunnitteluvaiheen laskelmiin täytyy tehdä aina.

ToVa 7

Toimivuuden jatkuva varmistaminen käsittää pääosin samat vaiheet kuin ToVa 6 -vaihe.

Tässä vaiheessa tulee kuitenkin kiinnittää huomiota laitteiden vanhenemisen aiheuttamiin mahdollisiin tuleviin ongelmiin. Lisäksi on otettava huomioon rakennuksen käytössä (käyttöprofiilissa) tapahtuvat muutokset ja niiden vaikutukset sisäilmastoon ja energiankulutukseen.

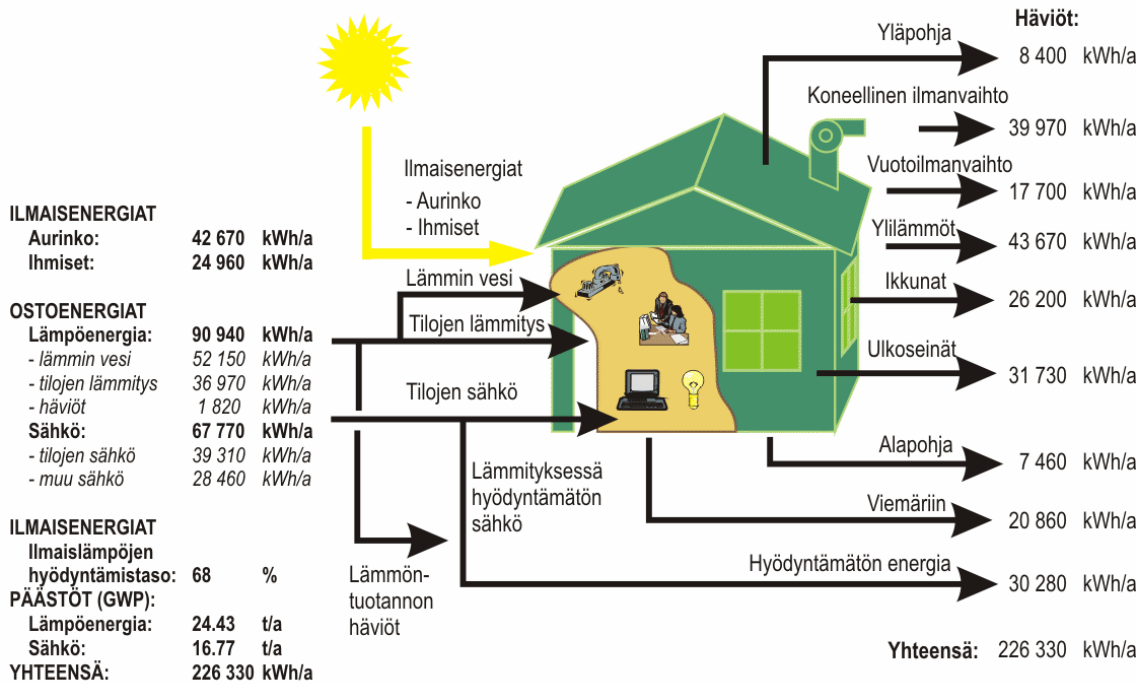
Varmistusmenetelmät

Toimivuuden varmistuksen tärkeitä asioita, jotka mahdollistavat luotettavan analyysin, ovat riittävän yksityiskohtaiset mittaukset. Mittaukset voidaan jaotella jatkuviin, rekisteröiviin mittauksiin ja kertamittauksiin. Toimivuuden varmistamisen kannalta olisi hyvä, että rekisteröiviä mittauksia on riittävästi.

Eräs hyvin tehokas toiminnan varmistusmenetelmä on **rakennuksen energiataseen** (sisälle tulevat energiat ja häviöenergiat) laatiminen. Mittausmenetelmien tulee mahdollistaa energiataseen teko. Kuvassa 12 on esimerkki erään kerrostalon laskennallisesta energiataseesta vuositasona.

Energiatase sisältää sekä mitattuja suureita (ostettu energia) että laskettuja suureita (lämpöhäviöt, auringon säteily). Mahdollinen ero energiataseen tulevissa ja lähteissä energiavirroissa voi olla merkki rakennuksen toiminnassa olevista vioista tai puutteista, jotka tulisi selvittää. Toisaalta jos mitattu ja laskettu, sääkorjattu energiankulutus ovat (jatkuvasti) riittävän lähellä (noin 5–10 %:n tarkkuudella) toisiaan, rakennuksen energiatehokkuuden voidaan arvioivan olevan suunnitelmien mukainen.

Lämmitysenergian jakautuminen rakennuksessa



Kuva 12. Esimerkki erään kerrostalon energiataaseesta vuositasona.

Energiatehokkuuden varmistamisen kannalta **energiamittaukset** (lämpö ja sähkö jaoteltuina alamittauksiin) ovat keskeisiä. Seuraavassa on luettelo mittauksista, jotka ovat välttämättömiä (v) tai hyödyllisiä (h):

- **lämpö (v)**
 - huonetilojen lämmitys (h)
 - käyttöveden lämmitys (h)
 - ilmanvaihdon lämmitys (h)

- **sähkö (v)**
 - LVI-sähkö (h)
 - IV-konehuoneiden sähkö
 - jäähdytyskoneiden sähkö
 - mahdollisten lämpöpumppujen sähkö
 - valaistussähkö (v/h)
 - muu kiinteistösähkö (h).

Lämpötilamittaukset antavat energiatehokkuuden laskennan rajoitusehdot. Lämpötilamittausten tulokset tulisi rekisteröidä jatkuvasti, jotta energiatehokkuuden laskennassa olisi käytössä mahdollisimman luotettavat tiedot.

Seuraavassa lämpötilamittaukset on jaettu välttämättömiin ja hyödyllisiin:

- ulkoilman lämpötila (v)
- poistoilman lämpötila ennen ja jälkeen lämmön talteenoton kaikille IV-koneille (v)
- ilmanvaihtokoneelta (-koneilta) lähtevä tuloilman lämpötila (v)
- sopiva määrä tyypillisten keskeisten tai kriittisten tilojen sisälämpötiloja (v); nämä mittauspisteet määritellään ToVa-suunnitelmassa
- tarvittaessa vetomittaukset/pallolämpötilamittaukset tiloissa, joissa on suuria ikkunapintoja/ulko-ovia (h)
- mahdolliset muut ToVa-suunnitelmassa määriteltävät ilmanvaihtojärjestelmän lämpötilamittaukset (h).

Tärkeimpien **ilmakanavien tilavuusvirrat** (v) tulee mitata sekä rakennusta vastaanotettaessa että ajoittain rakennuksen käytön aikana. **Vesikiertoisten järjestelmien** (patteri, ilmalämmitys) **tilavuusvirtojen mittaus** esim. venttiilien painehäviöistä auttaa analysoimaan näiden järjestelmien toimintaa.

Puhaltimien, joiden tilavuusvirta vaihtelee, **sähköteho** täytyy mitata tilavuusvirran funktiona. Niin saadaan riittävän hyvä kuva puhaltimien toiminnasta ja siitä, että ilmanvaihtokanavisto on mitoitettu oikein. Puhaltimien käyntiajat tulisi rekisteröidä, jos puhaltimet eivät ole jatkuvasti käytössä.

Jos rakennuksessa käytetään luonnollista jäädytystä esim. yöilmalla (ns. vapaajäähdytys), tällöin saatava jäähdytysenergia tulisi pyrkiä mittaamaan oikeilla ilman tilavuusvirtojen ja lämpötilojen mittauksilla. Jos luonnollisella jäähdytyksellä saatavaa energiaa ei mitata, rakennuksen energiataseeseen jää selittämätön kulutusero.

2.3.2 Rakennuksen sisäilmaston varmistaminen

Varmistettavat asiat

Hanketasolla tarkastellaan rakennuksen suunnittelua, rakentamista ja käyttämistä kokonaisuutena siten, että oleskeluvyöhykkeellä saavutetaan kaikissa tavanomaisissa sääoloissa ja käyttötilanteissa tavoitteiden mukainen terveellinen, turvallinen ja viihtyisä sisäilmasto.

Rakennuksen suunnittelussa ja rakentamisessa on terveellisen, turvallisen ja viihtyisän sisäilmaston saavuttamiseksi otettava yleensä huomioon seuraavat rakennukseen vaikuttavat tekijät:

- sisäiset kuormitustekijät, kuten lämpö- ja kosteuskuormitus, henkilökuormat, prosessit sekä rakennus- ja sisustusmateriaalien päästöt
- ulkoiset kuormitustekijät, kuten sää- ja ääniolot, ulkoilman laatu ja muut ympäristötekijät
- sijainti ja rakennuspaikka.

Järjestelmätasolla sisäilmastotavoitteet on pyrittävä toteuttamaan niin, ettei energiaa käytetä tarpeettomasti. Sisäilmaston ja energiatehokkuuden suunnittelu ja toteuttaminen linkittyvät näin saumattomasti yhteen. Terveellisen, turvallisen ja viihtyisän sisäilmaston saavuttaminen tuleekin varmistaa, kun

- suunnitellaan rakennuksen lämmön- ja kosteudeneristystä ja ikkunoiden ominaisuuksia
- määrittellään rakennuksen ulkovaipan, alapohjan ja roilojen ilmanpitävyyttä ja tilojen välisten rakenteiden ilmanpitävyyttä
- valitaan rakennus- ja sisustusmateriaaleja
- suunnitellaan rakennuksen talotekniikkajärjestelmiä, niiden käyttövarmuutta ja tilantarvetta
- suunnitellaan rakennustyömaan kosteudenhallintaa
- suunnitellaan rakennustöiden ja ilmanvaihtojärjestelmän puhtauden hallintaa
- laaditaan rakennustyömaan, vastaanoton ja käyttöönoton aikataulua.

Keskeisiä sisäilmaston tilaa kuvaavia mitattavia ja varmistettavia asioita ovat yleensä

- huonelämpötilat, pintalämpötilat
- ilman nopeus oleskeluvyöhykkeellä
- ilman suhteellinen kosteus
- ilman epäpuhtauspitoisuus
- äänitaso
- valaistusvoimakkuus
- ilmanvaihtotuotteiden puhtausluokka, rakennusmateriaalien päästöluokka.

Varmistusprosessi

Rakennusten sisäilmaston varmistuksen tärkeimmät tehtävät ToVa-toiminnan eri vaiheissa (ToVa 1–7) ovat seuraavat:

1. Toimivuuden varmistussuunnitelman keskeisiä asioita on, että omistaja tai rakennuttaja on asettanut rakennuksen sisäilmastotavoitteen yksiselitteisesti. Tämä sisältää sen, että tavoite on jaoteltu osatekijöihin tilakohtaisesti. Edelleen on määriteltävä talotekniikan toiminnalliset vaatimukset.

On myös hyvin tärkeää, että määritellään selkeästi, millä menetelmillä ja millaisilla lähtötiedoilla sisäilmastotavoitteen toteutuminen suunnitellaan, varmistetaan ja todennetaan (kussakin toteutusprosessin vaiheessa).

Toimivuuden varmistussuunnitelman laatiminen on vastuutettava tietylle henkilölle tai organisaatiolle. Pääsuunnittelija tai ToVa-vetäjä huolehtii siitä, että eri suunnittelijoiden suunnitelmat muodostavat kokonaisuuden, joka täyttää sisäilmastolle asetetut vaatimukset.

2. Rakennusten sisäilmaston kannalta suunnitteluedellytysten varmistaminen tarkoittaa, että suunnittelijoiden kanssa käydään läpi sisäilmastoon vaikuttavat keskeiset asiat ja määritellään suunniteltavat ratkaisut tai suunnittelussa tutkittavat vaihtoehdot. Tällaisia ovat mm.
 - rakennuksen vaipan lämmöneristävyys ja ilmanpitävyys
 - ikkunoiden suuntaus, ikkunatyypit, ikkunasuojaukset
 - ilmanvaihtotapa, ilmanvaihdon määrä, tarpeenmukainen ohjaustapa
 - huonelämpötilojen tavoitearvot, jäähdytystarve ja -tapa (esim. tuuletus, tehostettu ilmanvaihto tai koneellinen jäähdytys)
 - tilakohtaiset äänenvaimennukset/eristykset
 - ikkunapinnan ja lämmitysjärjestelmän vaikutus lämpöviihtyvyyteen, tarpeenmukainen ohjaustapa (lämpötilan säätömahdollisuudet)
 - sisäiset kuormitukset, kuten materiaalien päästöt sekä henkilöiden, laitteiden ja prosessien lämpökuorma ja käyttöaste.
3. Kolmannen ToVa-vaiheen perusteella hyväksytään rakennusta ja sen järjestelmiä koskevat tavoitteet ja alustavasti varmistetaan järjestelmäratkaisujen kelpoisuus. Tehtäviä ovat mm. seuraavat:
 - riskikohtien tunnistaminen
 - ratkaisujen vertaaminen tavoitteisiin
 - suunnitelmien yhteensopivuuden tarkastaminen ja vertaaminen tavoitteisiin.
4. Rakennusten sisäilmaston kannalta rakentamisen edellytykset varmistetaan seuraavilla toimilla:
 - a) Rakentaminen on organisoitu ja aikataulutettu ja ToVa-toiminta on organisoitu järjestelmittäin (rakennus ja sen ulkovaippa ja tiiviys, kosteudenhallinta, lämmitys, ilmanvaihto, jäähdytys, valaistus).
 - b) Varmistetaan, että ensimmäisessä ToVa-vaiheessa asetetut sisäilmastotavoitteet voidaan varmistaa (mitata) rakennuksesta.

Käyttöönoton edellytykset varmistetaan seuraavasti:

- Vaipparakenteille tehdään tarkastukset.
 - Tärkeimmille sisäilmastoon vaikuttaville laitteille tehdään toimintakokeet:
 - Lämmitys toimii tavoitteiden mukaan virtaus- ja lämpötilamittausten perusteella.
 - Puhaltimien ilman tilavuusvirrat ja huonekohtaiset ilmavirrat ovat oikeat:
 - Lämmitysjärjestelmät toimivat suunnitellusti arvioituina järjestelmien lämpötilojen ja pumppujen ja puhaltimien sähkönkulutusten perusteella.
 - Tehdään valaistusmittaukset.
5. Käyttö- ja ylläpitovaiheessa rakennuksen sisäilmastoa seurataan vertaamalla mitattuja tietoja rakennuksen suunnittelutavoitteisiin. Tavoitteet on päivitettävä rakennuksen käyttötarpeiden muutosten mukaan ajan tasalle. Käyttäjiltä saatava palaute on myös tärkeä ”mittari” sisäilmaston laadukkuutta arvioitaessa. Spontaanin palautteen (useimmiten valitusten ja reklamaatioiden) käsittely ja siihen reagointi tulisi organisoida ToVa-toiminnan yhteydessä. Lisäksi ainakin aika-ajoin voi olla perusteltua järjestää erillisiä käyttäjäkyselyjä.
6. Toimivuuden jatkuva varmistaminen käsittää pääosin samat vaiheet kuin kohta 6. Tässä vaiheessa tulee kuitenkin kiinnittää huomiota rakennuksen vanhenemisen aiheuttamiin mahdollisiin tuleviin ongelmiin.

2.4 Riskien kartoitus ja hallinta

Riskien arviointi ja toimet niiden toteutumisen estämiseksi ovat keskeinen osa toimivuuden varmistamista. Riskien etsintä on käynnistettävä jo hankesuunnitteluvaiheessa, ja sitä on hyödyllistä tehdä kaikissa hankkeen päävaiheissa.

Riskien kartoituksessa hyödynnetään usein erilaisia riskiluokitteluja ja taulukoita. Riskit on jaettavissa kahteen pääryhmään: luonnosta aiheutuvat riskit ja ihmisen, yhteiskunnan sekä yritysten toimintaan liittyvät riskit. Molemmat näistä riskiryhmistä ovat oleellisia myös rakennusten toimivuuden varmistamisessa. Seuraavassa muutamia toimivuuteen ja energiatehokkuuteen liittyviä riskitekijöitä:

- Tilaajan ja käyttäjien tarvetta ei ole kattavasti määritetty.
- Suunnittelun lähtötiedoissa on puutteita.
- Eri suunnitteluratkaisuissa on keskinäisiä ristiriitoja tai piileviä suunnitteluvirheitä.
- Suunnitelmien rakennettavuus tai asennettavuus on vaikea.
- Tilaajan käyttötarpeet muuttuvat hankkeen aikana.
- Toteutusvaiheessa tehdään rakennus- ja asennusvirheitä.

- Hankittavat rakennusosat tai laitteet eivät ominaisuuksiltaan vastaa alkuperäisiä suunnitelmia.
- Kiinteistön käytettävyys ja toimivuus eivät vastaa tavoitteita.
- Tilojen ja rakennuksen terveellisyyteen ja turvallisuuteen liittyy riskejä.
- Vaikeat sääolosuhteet pilaavat rakenteita ja materiaaleja.
- Tavoiteltua energiatehokkuutta ei saavuteta.
- Kiinteistön rakenteiden ja järjestelmien kestoikä on suunniteltua lyhyempi.
- Rakennuksen sisäilmasto ei pysy tavoitelluissa arvoissa.

Monet riskitekijät liittyvät myös hankkeen organisointiin, osapuolien valintaan, vastuunjakoon, alihankintoihin jne. Usein ne realisoituvat eri osapuolten kustannusten minimointiin tähtäävien päätösten vuoksi.

Riskien merkittävyys

Riskien merkittävyyden arvioinnissa on yleensä kaksi päänäkökulmaa: riskien esiintymisen todennäköisyys ja riskien seurausten vakavuus. Kuvassa 13 esitetään tarkastelu-periaate (Suomen Kaukolämpö ry 2001). Todennäköiset ja seurauksiltaan merkittävät riskit on aina pyrittävä estämään. Harvinaiset ja seurauksiltaan vähäiset riskit voidaan hyväksyä, ellei niiden estämiseen löydy valmiita keinoja. Esimerkkinä merkittävistä riskeistä ovat mm. rakennuksen kosteus ja homevauriot. Ne voivat johtaa rakennuksen käyttökelvottomuuteen ilman korjaustoimenpiteitä.

Seuraukset→ Todennäköisyys ↓	1 Vähäiset	2 Pienet	3 Kohtalaiset	4 Merkittävät	5 Erittäin suuret
1 Hyvin pieni	Merkityksetön riski				
2 Lievästi todennäköinen		Vähäinen riski			
3 Kohtalaisen todennäköinen			Kohtalainen riski		
4 Melko todennäköinen				Merkittävä riski	
5 Erittäin Todennäköinen					Sietämätön riski

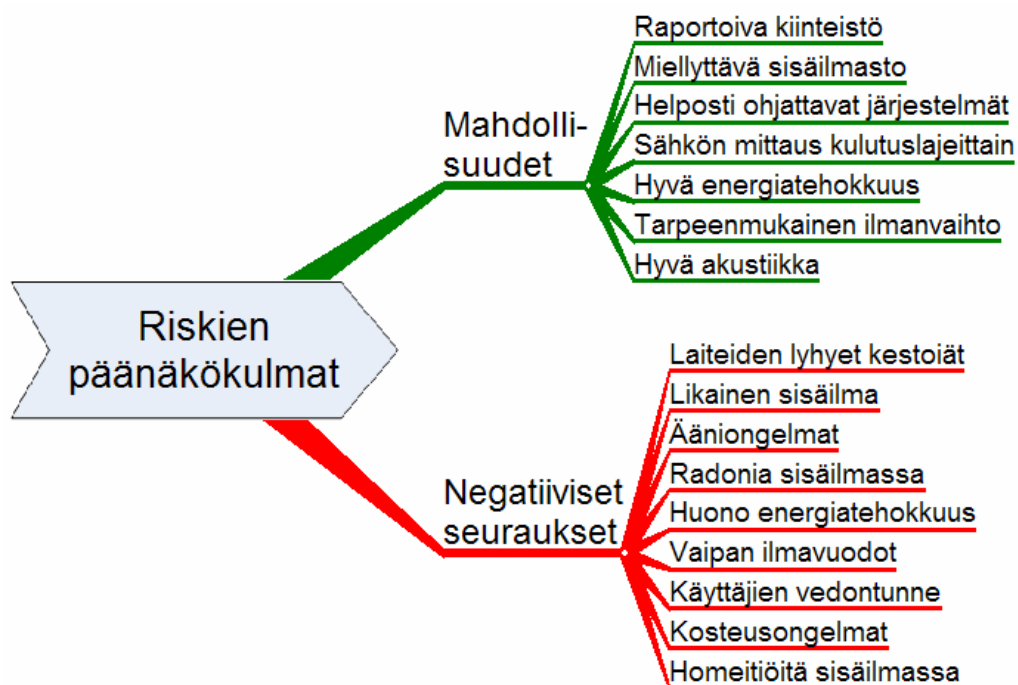
Kuva 13. Riskien merkittävyyden määrittäminen.

Esimerkiksi vaipan hallitsematon ilmavuoto voi

- vaikeuttaa ilmastoinnin säätöjä
- heikentää lämmön talteenoton hyötysuhdetta
- aiheuttaa käyttäjille vedontunnetta ja tyytymättömyyttä
- liata sisäilmaa
- olla hankala ja kallis korjata jälkikäteen
- heikentää vaipan ääneneritystä
- lisätä radonkaasun pääsyä kiinteistöön maaperästä.

Mahdollisuuksien tarkastelu

Riskien tarkastelussa voidaan erottaa kaksi ulottuvuutta: negatiiviset seuraukset ja toisaalta positiiviset mahdollisuudet. Sisäilmastoon ja energiatehokkuuteen liittyvässä riskien arvioinnissa on välttämätöntä tarkastella riskien kumpaakin ulottuvuutta. Jonkin tavoitteen saavuttamiseen liittyy aina epävarmuutta. Alhainen energiankulutus voi jäädä saavuttamatta esim. väärin järjestelmävalintojen ja säätöjen takia. Lämmön talteenoton tavoiteltua alhaisempi hyötysuhde ei vaikuta kiinteistön käytettävyyteen, mutta lisää lämmityskustannuksia. Asiaa ei välttämättä mielletä riskiksi. Asia avautuu, kun negatiivisten riskien lisäksi ajatellaan lisäarvojen ja hyötyjen saavuttamisen mahdollisuutta. (Kuva 14.)

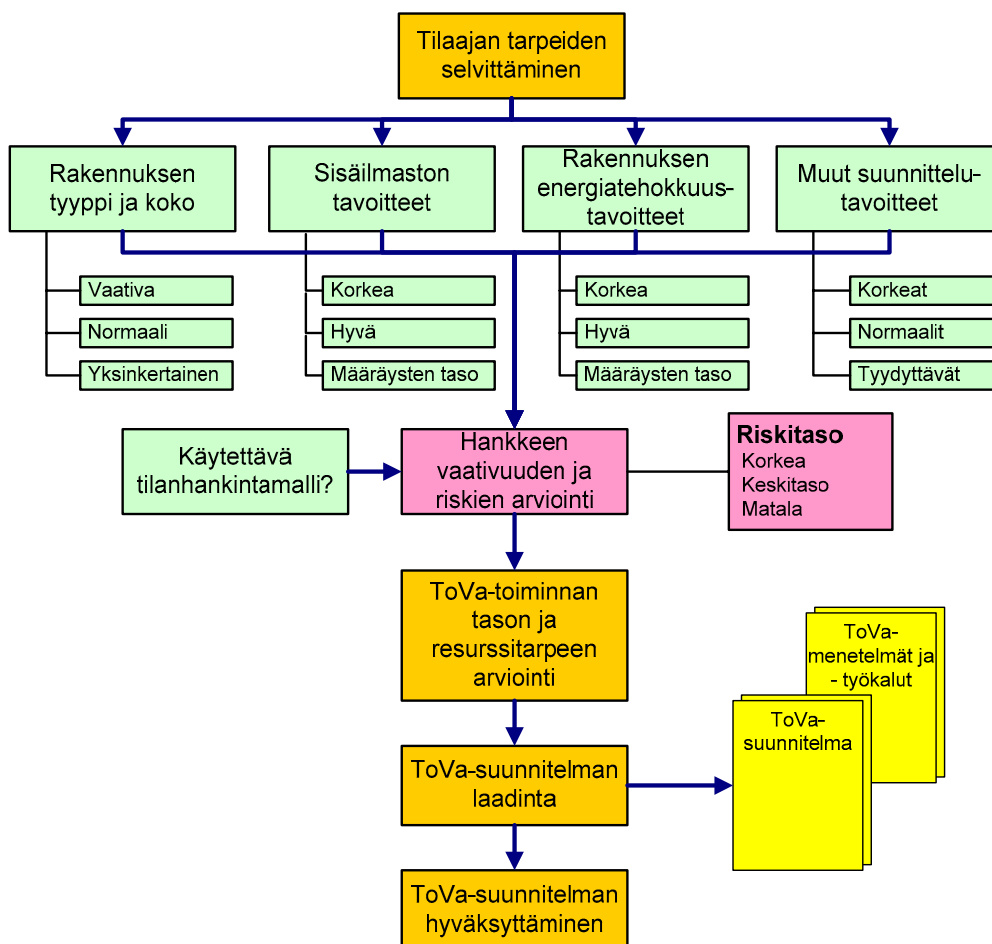


Kuva 14. Uusien ja mutkikkaiden ratkaisuiden riskien negatiivinen ja positiivinen näkökulma.

Mitä korkeammat sisäilmasto- ja energiatehokkuustavoitteet rakennukselle asetetaan, sitä suuremmaksi kasvaa todennäköisyys, ettei tavoitteita saavuteta ilman erityisiä ponnisteluja. Rakennukseen voidaan asentaa korkeatasoisia rakennusosia ja suorituskyvyltään erinomaisia laitteita, mutta niiden potentiaalista saadaan hyödynnettyä vain osa. Erinomaisen tuloksen saavuttamiseen liittyy monia epävarmuustekijöitä. Mitä laajemmasta ja monimuotoisemmasta hankkeesta on kysymys, sitä todennäköisemmin riskit myös realisoituvat ja sitä suuremmat ne myös ovat.

Riskien seurauksia arvioitaessa on tarpeellista arvioida myös sitä, missä muodossa ja mihin osapuoliin riskin toteutuminen tai saavuttamaton tavoite kohdistuu eli kuka kantaa toteutuneen riskin seuraukset.

Toimivuuden varmistamisen suunnittelun tarkkuus ja resurssitarve riippuvat hankkeen ominaisuuksista (Visier 2004). Toteutettavan ToVa-suunnitelman tarkkuus ja sisältö riippuvat mm. rakennuksen koosta, tilaajan tavoitetasosta sisäilmaston ja energiatehokkuuden osalta ja muista suunnittelutavoitteista, kuten arkkitehtuurista (Kuva 15). Korkeat tavoitteet edellyttävät usein varsin monimutkaista talotekniikkajärjestelmää.



Kuva 15. ToVa-suunnitelman laadintaprosessi.

Rakennuksen koko:

- Toimintahäiriöiden, vikojen ja puutteiden riski kasvaa siirryttäessä pienistä, yksinkertaisista rakennuksista suuriin toiminnoiltaan monimutkaisiin rakennuksiin.

Korkeat sisäilmasto- ja energiatehokkuusvaatimukset johtavat rakenteiden ja talotekniikan monimutkaisuuteen:

- Mitä enemmän rakennuksessa on erikoisia rakenneratkaisuja ja talotekniikkaa ja mitä monimutkaisempia järjestelmät ovat, sitä suurempi riski aiheutuu esim. huonosta suunnittelusta tai puutteellisista asennuksista. Monimutkainen rakenne ja talotekniikka vaativat perusteellisempaa ToVa-toimintaa.

Muut suunnittelutavoitteet:

- Ainutkertainen arkkitehtuuri edellyttää usein rakenteilta ja teknisiltä järjestelmiltä sopeutuvuutta ja ylimääräistä suunnittelupanostusta.

Määritelty vaativuus- ja riskitaso:

- Kartoitetaan riskit ja hankkeen tavoitteisiin liittyvät epävarmuudet.
- Arvioidaan riskitekijöiden merkittävyys.
- Määritellään riskit, joiden toteutuminen on estettävä.
- Määritetään tavoitteet, jotka on saavutettava.
- Suunnitellaan ToVa-toimien yksityiskohtaisuus ja resurssitarve määritellyn riskiprofiilin mukaisesti.

Omistajan ja käyttäjien riittävä osallistuminen tarpeiden määrittelyyn parantaa mahdollisuuksia saavuttaa käytön kannalta hyvä toimivuus ja sisäilmasto.

Joissakin vaativissa rakennuksissa, kuten sairaalat, laboratoriot, tietokonekeskukset ja pääkonttorit, järjestelmien toimimattomuus tai väärä toiminta saattaa aiheuttaa suuren käyttäjiin kohdistuvan taloudellisen tai imago-riskin. Tällaisissa rakennuksissa ToVa-toiminta voi olla intensiivisempää kuin muissa rakennuksissa.

Taulukoihin 2–4 on esimerkinomaisesti koottu eri järjestelmiin liittyviä tekijöitä, joilla on usein vaikutusta rakennuksen energiankulutukseen tai sisäilmastoon ja jotka on siis hyvä ottaa huomioon ToVa-suunnitelmaa laadittaessa.

Taulukko 2. Rakennuksen ulkovaippaan liittyviä mahdollisia ongelmakohtia.

Tekijä	Mahdollinen vaikutus energiankulutukseen tai sisäilmastoon	Prosessin vaihe, jossa ongelmaan vaikutetaan
Suuret ikkunapinta-alat	Veto, kasvattaa lämmönkulutusta, suuret lämpökuormat, varjostustarve	Suunnittelutavoitteet, suunnitteluratkaisut
Höyrysulun tai tuulen-suojauksen puutteet	Ilmavuodot, kosteusvauriot, pintalämpötilojen lasku	Työmaa
Kylmäsilat, eristevirheet	Rakenteiden alhaiset pintalämpötilat → veto, sisäilman kosteuden tiivistyminen → homeen kasvu	Detaljit, työmaa
Parvekkeiden ja terassien ovet	Tiivistevuodot, kylmät pinnat, huurtuminen	Detaljit, hankinnat
Kevytrakenteiset ovet	Käyristyminen, veto	Detaljit, hankinnat
Kapeakarmiset, metallipuitteiset ikkunat	Puitteet jäähtyvät → veto, jäätyminen	Suunnitelmat, hankinnat
Lasitiilirakenteet kosteissa tiloissa ulkoseinissä	Matalien pintalämpötilojen aiheuttama kondenssi	Suunnitteluratkaisut

Taulukko 3. Lämmitysjärjestelmään liittyviä mahdollisia ongelmakohtia.

Tekijä	Mahdollinen vaikutus energiankulutukseen tai sisäilmastoon	Prosessin vaihe, jossa ongelmaan vaikutetaan
Virheellinen termostaatin sijainti	Ongelmat lämmityksen säädössä ja ohjauksessa	Suunnitteludetaljit
Lämpöteknisesti erilaisten tilojen säätö samalla termostaatilla	Epäviihtyisät lämpöolot	Suunnitteludetaljit
Sähkölämmityspatterin alimitoitus	Patterin korkea pintalämpötila	Suunnittelu
Yhdistetty lattia- ja kattolämmitys	Huoneen epätasainen lämpötilajakauma	Suunnittelu
Lattialämmitys	Veto, jos suuret ikkunat	Suunnittelu
Lattialämmityksen asennusvirhe	Lämmittämättömiä alueita	Työmaa
Varaavan lattialämmityksen kapasiteetti kylmimpänä vuodenaikana	Lämmitystehon riittämättömyys, lämpötilan lasku	Suunnittelu
Kattolämmitys	Veto, jos suuret ikkunat	Suunnitteluratkaisu

Taulukko 4. Ilmanvaihtojärjestelmään liittyviä mahdollisia ongelmakohtia.

Tekijä	Mahdollinen vaikutus energiankulutukseen tai sisäilmastoon	Prosessin vaihe, jossa ongelmaan vaikutetaan
Ikkunapuitteisiin tai ulkoseiniin asennetut ulkoilmaventtiilit	Veto	Suunnitteluratkaisu
Painovoimainen ilmanvaihtojärjestelmä	Liian pienet ilmamäärät	Järjestelmävalinta ja mitoitus
Ulkoilmaventtiilit lattialämmityksen yhteydessä	Veto	Suunnittelu
Koneellinen ilmanvaihtojärjestelmä, pienessä asunnossa	Ylisuuret ilmamäärät	Suunnittelu ja säätö
Ulkoilmaventtiili lämmityspatterin takana	Huolto, säätö ja kunnossapito vaikeaa	Suunnitteluratkaisu
Puutteet ulkovaipan höyrysulussa ja/tai väärin tasapainotettu IV-järjestelmä	Vaipparakenteiden läpi tulevat ilmavuodot	Asennus, säädöt
Käyttäjä kuristaa tuloilmamääriä	Vuotoilman osuus kasvaa	Säädöt, ohjeistus
Tuloilmamäärän pienentäminen kovilla pakkasilla	Rakenteiden jäähtyminen ilmavuotokohdissa	Suunnitteludetailit, asennustapa
Tuloilmaelimiä väärä sijainti tai väärä heittokuvio	Alentunut lämpövihiytyisyys	Laitevalinnat
Samanaikainen vaikutusalueella erityyppisten tilojen säätö toisen tilan anturilla	Toisen tilan olosuhteita ei saada hallintaan	Suunnitteluratkaisut
Yhtäaikainen lämmitys ja jäähditys IV-koneilla	Energiankulutus kasvaa	Järjestelmien integrointi

3. Toimivuuden varmistuksen organisointi

3.1 Toimivuuden varmistamisen organisointi ja johtaminen

3.1.1 Perinteiset projektikäytännöt sisäilmaston ja energiatehokkuuden varmistamisen kannalta

Rakennushankkeissa sovellettavat käytännöt ovat muotoutuneet ja kehittyneet pitkän ajan kuluessa. Vaikka hankkeiden suunnittelussa ja johtamisessa sovelletaan pääpiirteisään samankaltaisia periaatteita, on eri projektien välillä usein merkittäviä eroja. Keskeisimpiä projektien toteutukseen vaikuttavia ja siis myös toimivuuden varmistamiseen liittyviä taustatekijöitä ovat seuraavat:

- Eri hankintamallien väliset erot vastuunjaossa ovat merkittävät.
- Rakennuttamisessa ja hankkeiden tavoitteiden asetannassa on eroja tilaajakohtaisesti.
- Hankkeet ovat keskenään erilaisia mm. laajuuden, käyttötarkoituksen ja laadun osalta.
- Yrityksillä on erilaiset laatu- ja toimintakäytännöt.
- Sisäilmasto- ja energiatehokkuustavoitteiden tiedostaminen vaihtelee.
- Hankesuunnittelu ei vielä yleisesti perustu kattavaan toimivuusvaatimusten määrittämiseen.
- Suunnittelijoiden, urakoitsijoiden ja toimittajien valintakriteereissä pääpaino on hinnalla.
- Rakennusten järjestelmät kehittyvät ja monimutkaistuvat erityisesti talotekniikan osalta.

Nykyisissä projektiorganisaatioissa on useinkin varsin hyvää osaamista sisäilmaston ja energiatehokkuuden kannalta. Sisäilmasto- ja energiatehokkuusnäkökulmat eivät ole kuitenkaan valmiiksi projekti- ja laatuikäytäntöihin sisäänrakennettuja. Toimivuus- ja energiatehokkuustavoitteiden saaminen lopputulosta ohjaavaksi tekijäksi edellyttää siten erityistä suunnittelua ja menettelyitä. Koska valinnoissa pääpaino on hinnalla, tulisi menettelytapoja kehittää siten, että vertailu tapahtuisi rakennustasolla eri rakenne- ja talotekniikkakombinaatioiden välillä eikä pelkästään osakokonaisuuksittain.

3.1.2 ToVa-tiimin kokoaminen

ToVa-toiminnan suunnittelu ja organisointi on aloitettava jo tarveselvitys- ja hankesuunnitteluvaiheessa. Tällöin hankkeeseen saadaan alusta asti ryhtiä myös sisäilmasto- ja energiatehokkuutta ajatellen. Tarveselvityksessä ja hankesuunnittelussa tehdään lopputuloksen kannalta kaikkein keskeisimmät tavoitteidenasettelut.

Lähtökohtaisesti ToVa-toiminnalla tulee olla nimetty hankekohtainen vetäjä, koska nykyisissä projektikäytännöissä sisäilmasto- ja energiatehokkuusvastuu on hajaantunut eri osapuolille. Vaihtoehtoja ToVa-toiminnan vetäjäksi ovat esim.

- pääsuunnittelija (arkkitehti tai muu suunnittelija)
- asiakaspalveluinsinööri tai -päällikkö (urakoitsija tai tilaajan edustaja)
- suunnittelutiimiin kuulumaton ulkopuolinen talotekninen suunnittelija
- LVI-suunnittelija
- ToVa-toimintaan erikoistunut konsultti
- rakennuttajapäällikkö tai vastaava.

Tilaajan itsensä on nimettävä ToVa-toiminnan vetäjä perinteisissä urakkahankkeissa, joissa tilaaja palkkaa suunnittelijat. Suunnittelu ja rakentaminen -hankkeissa ToVa-toiminnan johtaminen sopii sekä tilaajalle että urakoitsijalle. Elinkaarivastuuhankkeissa ToVa-toiminnan johtaminen ja vetäjän nimeäminen on perusteltua siirtää elinkaaripalvelun tarjoajan tehtäviin. Tilaaja on tällöin palvelun ostaja ja toimivuusvastuu on palvelun tuottajalla.

Oleellista ToVa-toiminnan johtamisen kannalta on hyvä tietämys sisäilmaston ja energiatehokkuuden kannalta oleellisten järjestelmien suunnittelusta, toteutuksesta ja käytöstä. Erityisenä näkökulmana tehtävässä on eri järjestelmien yhteistoiminta.

Käytännön ongelmana on se, että näistä laajan monialaisen osaamisen ja kokemuksen omaavista asiantuntijoista on pulaa. Siksi ToVa-toiminta on tiimityötä.

ToVa-tiimi on mahdollista koota usealla eri tavalla (Taulukko 5). Ratkaisuun vaikuttavat mm. rakennusten erilaiset hankintamallit ja urakkamuodot. Eri hankkeissa on myös erilaisia osapuolia. ToVa-tiimin koko voi myös kasvaa hankkeen edetessä. Hankesuunnitteluvaiheessa ei ole mukana vielä monia osapuolia, joten hankkeen edetessä muita suunnittelijoita ja urakoitsijoita on perehdytettävä ja velvoitettava ToVa-prosessiin.

Taulukko 5. ToVa-tiimin kokoamisvaihtoehtoja.

<ul style="list-style-type: none"> ◆ ToVa-vetäjä ● Vahva osallistumispanos ○ Osallistuu toimintaan 	Urakkahanke pieni	Urakkahanke	Urakkahanke	Suunnittelu-rakentaminen-hanke	Suunnittelu-rakentaminen-hanke	Suunnittelu-rakentaminen-hanke	Elinkaarihanke
Pääsuunnittelija	●	◆	●	●	◆	●	●
Ulkopuolinen ToVa-konsultti				◆			
Tilaajan edustaja	●	●	◆	●	●	○	○
Pääurakoitsijan edustaja		○	○	●	●	◆	●
LVI-suunnittelija	◆	●	●	●	●	●	●
Sähkösuunnittelija	○	○	○	○	○	○	○
Rakennesuunnittelija	○	○	○	○	○	○	○
Automaatiosuunnittelija	●	●	●	●	●	●	●
Kiinteistöpalveluinsinööri			●	●			◆
Talotekninen valvoja	○	○	○	○	○	○	○
Rakennevalvoja	○	○	○	○	○	○	○
Talotekniikkaurakoitsija	○	○	○	○	○	○	○

Rakennuslaissa määritellyllä pääsuunnittelijalla on lähtökohtaisesti soveltuva näkökulma ToVa-toimintaan. Pääsuunnittelija on mukana hankkeissa jo ennen suunnittelun käynnistämistä. Turvallisuus, terveellisyys ja suunnittelutavoitteiden varmistaminen ovat nykyisin pääsuunnittelijan tehtäviä. Toimivuuden varmistuksen johtaminen sopii siten pääsuunnittelijan tehtäviin. ToVan kannalta ei kuitenkaan riitä vain arkkitehtuuripainotus, vaikka arkkitehtisuunnittelussa oleellisesti vaikutetaankin sisäilmastoon ja energia- tehokkuuteen.

Tilaajan projektipäällikkö tai urakoitsijan asiakaspalvelupäällikkö, -insinööri tai kiinteistö- vastaava on toinen harkinnan arvoinen vaihtoehto ToVa-toiminnan vetäjäksi. ToVa-tiimiä voi vetää myös ulkopuolinen suunnitteluun tai toimintaan erikoistunut konsultti. Toimi- vuuden varmistuskäytäntöjä kehitettäessä ammattitaitoinen kolmas osapuoli voi tuoda merkittävää lisäarvoa ja riippumatonta näkemystä, joka terävöittää prosesseja.

ToVa-toiminnan johtamisesta tulee tehdä oma erillinen sopimuksensa, jossa korostuu selvästi sisäilmaston ja energiatehokkuuden kokonaisnäkökulma.

Työmaavaiheen valvontaa hoitavat perinteisesti tilaajan palkkaamat rakennusvalvojat. Tilaajan valvojien roolin laajentaminen toimivuuden varmistukseen liittyviin tehtäviin voi olla perusteltua tilaajan kannalta. Tällöin valvojien tulisi osallistua jo hankkeiden suunnittelukokouksiin, mistä olisi hyötyä myös työmaavaiheessa.

3.1.3 ToVa-tiimin tehtävät ja toiminta

Päätavoitteena ToVa-toiminnassa on pyrkiä toimivuuden kannalta hyviin ratkaisuihin ja estää virheiden syntymistä ja toteutumista sekä suunnittelun että rakentamisen aikana. ToVa-toiminnan nimetty vetäjä laatii toiminnalle suunnitelmat ja vastuunjaon. Hankkeiden vetäjät, suunnittelijat, urakoitsijat ja toimittajat osallistuvat sisäilmaston ja energiatehokkuuden varmistamiseen kukin oman sopimuksensa puitteissa.

ToVa-toiminta voi painottua ulkopuoliseen tarkistamiseen. ToVa-toiminnan vetäjä, esim. suunnittelutiimin ulkopuolinen konsultti, tarkistaa tavoitteita, suunnitelmia, sopimuksia ja todentavia asiakirjoja ja ehdottaa tarvittaessa korjaavia toimenpiteitä. ToVa-konsultin tulee rytmittää toimintansa suunnitteluprosessin etenemisen mukaan.

Toinen päävaihtoehto ToVa-vetäjän tehtävänkuvaan on osallistua vahvasti hankkeen suunnittelun ja toteutuksen ohjaukseen. ToVa-toiminnan vetäjän on suunniteltava ja ohjattava sitä, että sisäilmaston ja energiatehokkuuden tavoitteet näkyvät ja toteutuvat hankkeen muiden avainosapuolten tehtävissä. ToVa-toimintaan osallistuvat suunnittelijat sekä tilaajan, käyttäjän ja urakoitsijoiden edustajat. Riittävän aikaisessa vaiheessa mukaan tulisi kytkeä myös ylläpito-organisaation (näkökulman) edustus.

Oleellista on saada toimivuuden varmistamisen tehtävät ja vastuunjako osaksi hankkeen suunnitteluasiakirjoja. ToVa-vastuita ja -velvoitteita on syytä painottaa ainakin keskeisimpien järjestelmien suunnittelu- ja toimitussopimuksissa. Taulukossa 6 esitetään ToVa-tehtävät ja -vastuut suunnitteluvaiheessa (muokattu lähteestä Model commissioning plan, PECI 1998).

Osa toimivuuden varmistukseen liittyvistä tehtävistä voidaan hoitaa normaalin suunnittelu- ja työmaakokouskäytännön puitteissa. Kuitenkin erityisesti vaativissa hankkeissa tarvitaan erityisiä sisäilmaston ja energiatehokkuuden ToVa-toimintaan liittyviä kokouksia, työpajoja ja katselmuksia.

Taulukko 6. Toimivuuden varmistamiseen liittyvien tehtävien vastuunjako suunnittelu- vaiheessa urakkahankkeessa (esimerkki).

ToVa-tehtävät ja -vastuut suunnitteluvaiheessa	Osapuolien vastuunjako							
	ToVa-vetäjä	Päsuunnittelija	ARK-suunn.	LVI-suunn.	Automaatio	Sähkösuun.	Tilaaajan edustaja	Työpäällikkö
1 ToVa-toiminnan suunnittelu ja johtaminen	X							
• Kokousten suunnittelu ja ajoitus	X	x					x	
• Tehtävien suorituksen valvonta	X	x					x	
2 ToVa-suunnitelma suunnitteluvaiheeseen	X							
• Edellisen ToVa-suunnitelman täydentäminen	x							
• Suunnitelman tarkistaminen ja kehittäminen	x	x					x	
3 ToVa-suunnittelukatselmukset	X							
• Suunnitteluratkaisujen tarkistus	x	x						
• Vastaaminen esitettyihin ToVa-huomautuksiin		x	x	x	x	x	x	
4 Suunnittelu- ja käyttötavoitteiden dokumentointi		X						
• Määrittää esitystavat	x	x						
• Laatia järjestelmäkohtaiset suunnittelutavoitteet		x	x	x	x	x	x	
• Käyttö- ja huoltokirjojen sisältösuunnitelmat	X	x		x	x	x	x	
• Tarkistaa ja hyväksyä suunnittelutavoitteet	X	X	x				x	
• Vastata esitettyihin huomautuksiin			x	x	x	x		
5 Rakennusvaiheen ToVa-suunnitelma								
• Suunnitelman laadinta	X							
• Suunnitelman tarkistus	x	x		x	x	x	x	x
6 Työselityksien tarkistaminen ja täydennys (ToVa)								
• Avustaa katselmuksissa ja tarkistuksissa	x	X						x
• Vaippa, rakenteet ja materiaalit	x	x	x					x
• LVI-järjestelmät	x	x		x				
• Sähkö ja valaistus	x	x	x			x		
• Rakennusautomaatio	x	x			x	x		
7 Katselmoida työ- ja valmistussuunnitelmat								
• Suunnitelmat täyttävät suunnittelutavoitteet?	X	X						
• Vastata esitettyihin ToVa-huomautuksiin		x	x	x	x	x		

Toimivuuden toteuttamista tehostaa käytännössä se, että rakennus jaetaan hankinnoissa toimivuuden kannalta selkeisiin kokonaisuuksiin. Eri järjestelmien yhteistoiminnan todentamisesta tulee olla myös selvästi määritetyt veloitteet sopimuksissa. Koska liki kaikki talotekniset järjestelmät ovat vuorovaikutuksessa toisiinsa, ovat talotekniikan kokonaistoimitukset yksi tapa ratkaista toimivuusvastuukysymys Suunnittelu- ja hankinta-asiakirjoissa järjestelmien toimivuuskriteerien esittäminen on välttämätöntä.

Laajojen toiminnallisten toimituskokonaisuuksien käyttö ei sinänsä vähennä ToVa-toiminnan tarvetta. Käytännön ToVa-vastuuta siirtyy laajojen hankintakokonaisuuksien mukana toimittajille. Tämä voi vähentää koko hankkeen ToVa-vastaavan tehtävään liittyvää työmäärää, mutta velvoittaa kokonaistoimittajaa hoitamaan vastaavasti suuremman osan järjestelmien integraatiosta.

Toimivuuden kannalta käyttökelpoisia kokonaisuuksia ovat esim.

- koko talotekniikka
- ilmastointi, lämmitys ja automaatio
- ilmanvaihtojärjestelmä ja mahdollinen jäähdytysjärjestelmä
- ulkovaippa
- lämmitysjärjestelmä
- vesi- ja viemärijärjestelmä
- automaatiojärjestelmä
- sähköjärjestelmä ja valaistusjärjestelmä.

3.2 Toimivuuden varmistuksen liittyminen muihin laatukäytäntöihin

Rakennusteollisuudessa on käytössä suuri määrä erilaisia laatu- ja toimintakäytäntöjä. Ne on järjestetty useimmiten ISO 9000 -standardien mukaisiksi laatu- ja toimintajärjestelmiksi. Sisäilmaston ja energiatehokkuuden varmistamisessa voidaan siten tukeutua olemassa oleviin menettelyihin. Yritysten laatu- ja toimintajärjestelmät eivät kuitenkaan sisällä yleensä riittävästi menettelyjä ja ohjeita sisäilmaston ja energiatehokkuuden näkökulmasta.

Keskeisiä olemassa olevia laatukäytäntöjä, joita ToVa-toiminnassa voidaan hyödyntää, ovat

- projektikohtaiset laatusuunnitelmat
- sopimus- ja suunnittelukatselmukset
- työmaakohtaiset laaduntarkastusasiakirjat (viranomaisvaatimus)
- tarkistuslistat ja pöytäkirjat suunnittelu- ja työmaavaiheissa
- tuotesertifikaatit.

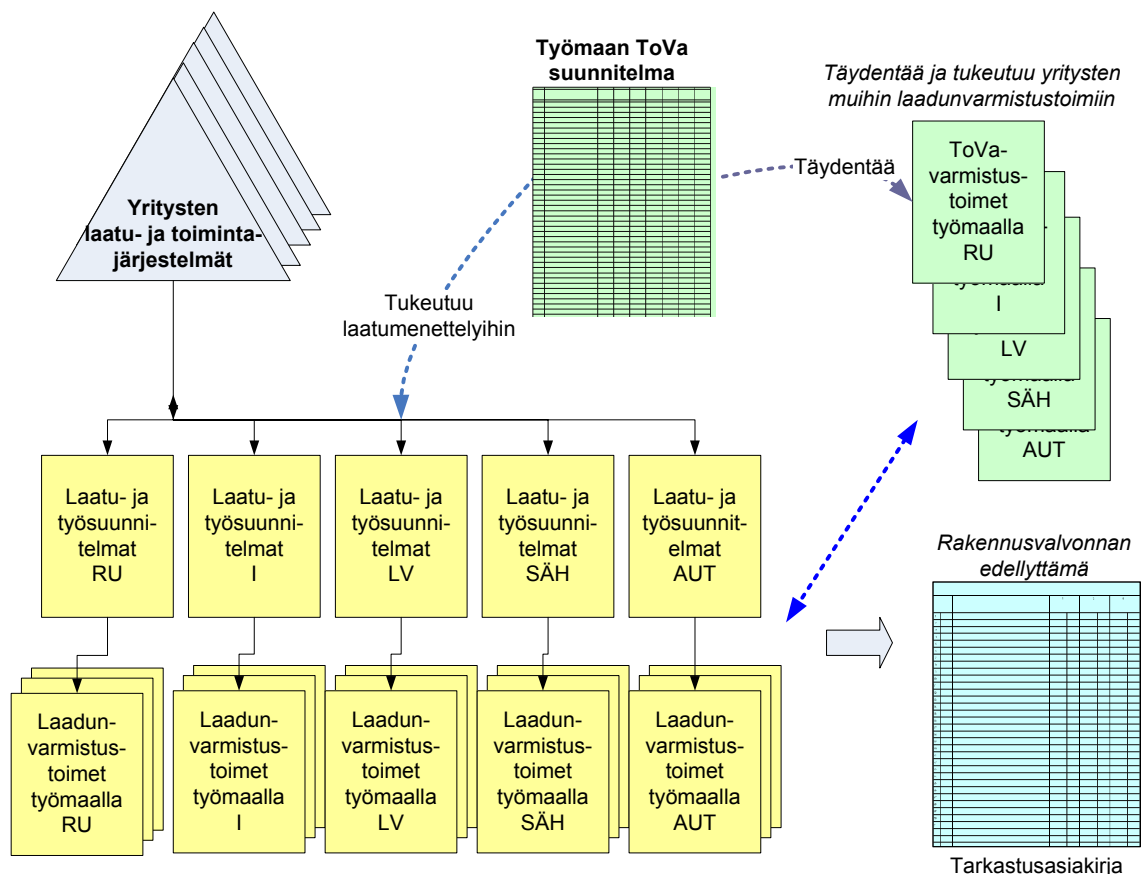
Oleellinen piirre yrityskohtaisissa laatu- ja toimintakäytännöissä sekä niiden projekti-kohtaisessa soveltamisessa on käytäntöjen vaihtelu yritysten ja projektien kesken. Vaikka ToVa-toiminnalle kehitetään toimintamalleja ja apuvälineitä, edellyttää niiden käyttö projektikohtaista täsmentämistä. Projektikohtaiseen soveltamiseen vaikuttavat mm.

- tilaajien käyttämät eri hankintamallit
- projektien laajuuden ja vaativuuden erilaisuus
- ToVa-toiminnan organisointitapa
- valittujen suunnittelijoiden ja urakoitsijoiden toiminta- ja laatuikäytännöt
- projektin jakotapa eri hankintakokonaisuuksiin.

Projektin ToVa-toiminnasta vastaavan tulee perehtyä valittujen yritysten toiminta- ja laatuikäytäntöihin ja suunnitella sisäilmaston ja energiatehokkuuden varmistustoimet siten, että eri osapuolien välille ei jää aukkoja ja etteivät ToVa-toimenpiteet ole tarpeettomasti päällekkäin muiden laadunvarmistustoimien kanssa.

ToVa-toiminnalla on kokoava ja integroiva ote yritysten laadunvarmistukseen (Kuva 16). Tavoitteena on, että projektin toteutukseen osallistuvat suunnittelijat, urakoitsijat ja toimittajat toteuttavat käytännössä ToVa-toiminnan tavoitteet. Keskeisimpiä keinoja ovat

- tilaajan tavoitteiden tarkistus sisäilmaston ja energiatehokkuuden kannalta sekä näiden tavoitteiden kuljettaminen läpi hankkeen kaikkien vaiheiden
- suunnittelutavoitteiden tarkistaminen ja suunnittelukatselmukset
- tarjouspyyntöasiakirjoihin liitettävien ToVa-velvoitteiden tarkistaminen
- sopimuskatselmukset
- ToVa-tavoitteiden ja -teemojen käsittely suunnittelu- ja työmaakokouksissa ja erillisten tilaisuuksien järjestäminen tarvittaessa mm. eri järjestelmien integroinnista
- ToVaan liittyvän vastuunjaon täsmentäminen
- tarkistustoimien suunnittelu sekä suunnittelu- että työmaavaiheissa
- valmistautuminen viimeistelyyn ja loppukokeisiin työmaavaiheessa
- riittävän dokumentoinnin edellyttäminen osapuolilta
- käyttö- ja ylläpito-organisaation kytkeminen mukaan riittävän aikaisessa vaiheessa.



Kuva 16. Toimivuuden varmistusprosessi liitetään projektikohtaisesti yritysten toiminta- ja laatuikäytäntöihin. ToVa-toiminnalla on siinä eri järjestelmiä toisiinsa integroiva tehtävä.

3.3 Koulutus ja perehdyttäminen

Käyttäjäpuolen tietotaito on usein hyvin puutteellista (Nyman et al. 2005). Käyttäjien ammattitaitoa olisi kohennettava huomattavasti, jotta laitteiden hyödyntäminen voitaisiin maksimoida. Lisäksi huoltomiesten vaihtuvuus kentällä on suurta, jolloin uusi huoltomies joutuu käyttämään paljon aikaa järjestelmään perehtymiseen.

Koulutus järjestetään yleensä käyttöönottovaiheessa. Kiinteistöhoitajien näkökulmasta koulutuksessa on ollut seuraavia puutteita:

- Koulutusjakso on liian lyhyt.
- Koulutus on ollut pintapuolista, eikä koulutettavien lähtö- ja osaamistasoa oteta tarpeellisessa määrin huomioon.

Tavoitetaso- ja vaatimukset on esitettävä riittävän selkeästi huoltokirjassa, jonka laadinta tulee aloittaa riittävän ajoissa. Käyttövaiheen energiakustannuksissa korostuu oikean käytön merkitys. Rakennusautomaatiojärjestelmiä ei tällä hetkellä käytetä niin tehokkaasti kuin olisi mahdollista, tai niiden ominaisuuksia ei hyödynnetä täysimääräisesti. Voidaan kysyä, onko järjestelmien dokumentointi ja käyttöönotto järjestetty rakennuksesta vastaavien henkilöiden kannalta tarkoituksenmukaisesti ja oikein. Koulutusta voidaan verrata yleisten tietokoneohjelmien käyttöön: suuri osa käyttäjistä hallitsee esimerkiksi taulukkolaskentaohjelmistojen ja tekstinkäsittelyohjelmistojen perustoiminnot, mutta kehittyneempiä ominaisuuksia ei hyödynnetä.

Koulutus tulisi aloittaa nykyistä aikaisemmassa vaiheessa. Toimivuuden varmistusprosessin tulee tuottaa rakennuksesta sellaista perusdokumentaatiota, jota voidaan käyttää koulutuksessa. Koulutuksen tavoitteena on asianmukaisen käytön varmistaminen ja riittävä osaaminen. Tämän vuoksi toimivuuden varmistusprosessissa täytyy suunnitella ajoissa koulutuksen ajoittaminen, laajuus ja toteutustapa (esim. koeajot).

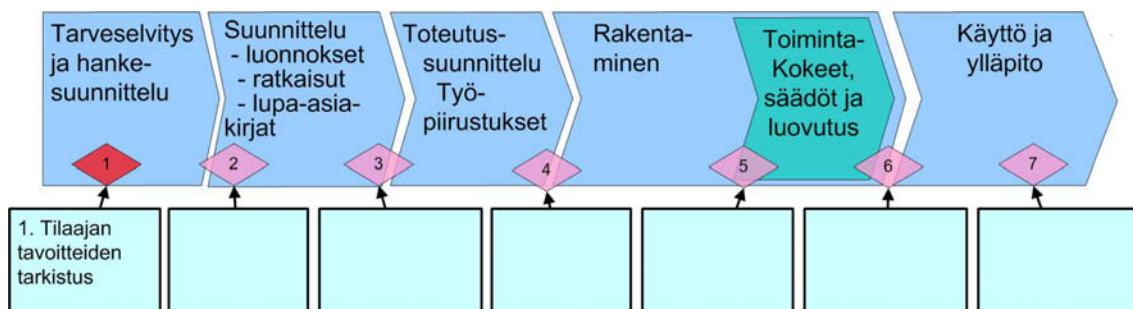
Koulutusta suunniteltaessa on otettava huomioon, että rakennusautomaatiojärjestelmien käytön hallinta voi parhaassakin tapauksessa ottaa aikaa vuoden tai enemmän. Käytössä olevien rakennusautomaatiojärjestelmien ja niitä hyödyntävien hallintajärjestelmien käytettävyyttä ei useinkaan ole paras mahdollinen, eivätkä nämä järjestelmät palvele käyttäjän, omistajan tai ylläpidosta vastaavan tarpeita parhaalla mahdollisella tavalla. ToVa-toiminnan haasteena onkin miettiä, miten käytettävyyttä voitaisiin parantaa ja mitä tämä vaatii koulutukselta, sen sisällöltä ja koulutuksen suunnittelulta.

Ylläpito-organisaation varhaisen perehdyttämisen lisäksi ToVa-toiminnan yhteydessä on mietittävä myös sitä, missä määrin rakennuksen ”loppukäyttäjä” tarvitsee opastusta ja perehdyttämistä. Samalla tulee ratkaista, minkälaisia ohjeita, koulutusaineistoja jne. loppukäyttäjille valmistellaan ja mitä käyttöohjeita ja muita materiaaleja esim. tiettyihin tiloihin pitää sijoittaa. Asukkaille tai käyttäjille on perusteltua laatia selkeät käyttöohjeet ja järjestää käyttöönottovaiheessa ”asukaskoulu-” tms. toimintaa. Luokkahuoneisiin, laboratorio- ym. erityistiloihin ja niiden laitteisiin on kenties perusteltua tehdä kiinteät opastaulut tms. Uusi tietotekniikka tulee tarjoamaan myös ko. tyyppiseen toimintaan uusia mahdollisuuksia, ja jo nyt esim. Internet-pohjaisia ratkaisuja hyödynnetään monissa organisaatioissa. Internetin kautta jaettavia ohjeita ja oppaita voidaan päivittää tarpeen vaatiessa. Työntekijöiden ja asukkaiden valmius hyödyntää sähköisiä jakelukanavia paranee myös jatkuvasti, koska Internet-yhteydet ovat yleisiä kodeissa ja työpaikoilla.

Tarveselvitys ja hanke-suunnittelu	Suunnittelu	Toteutus-suunnittelu	Rakentaminen	Toimintakokeet, säädöt ja luovutus	Käyttö ja ylläpito
------------------------------------	-------------	----------------------	--------------	------------------------------------	--------------------

4. Toimivuuden varmistaminen rakennuksen elinkaaren päävaiheissa

4.1 Tarveselvitys- ja hankesuunnittelu



4.1.1 Vaatimusten asettaminen ja suunnitteluedellytysten varmistaminen

Rakennuksen ja sen järjestelmien päätavoitteet tilaajan ja käyttäjien toiminnan kannalta ovat yleensä

- toimivat tilat ja hyvä sisäilmasto
- hyvä energiatehokkuus, joka johtaa alhaisiin energiakustannuksiin
- optimaaliset kokonaiskustannukset elinkaaren aikana (investointi- ja käyttökustannukset).

Tarveselvityksessä määritellään tilaajan ja käyttäjien tarpeet. Hankesuunnittelussa haetaan vaihtoehtoja tilaajan tarpeiden täyttämiseksi, suunnitellaan hankkeen budjettikehys ja määritellään tavoitteet suunnitteluvaihetta varten.

Keskeisiä ToVa-tehtäviä tarveselvitysvaiheessa ovat

- tilaajan tulevaisuuden strategioiden ja toimintasuunnitelmien tarkistus
- tilaajan ja käyttäjien tarpeiden ja vaatimusten tarkistaminen
- rakennuspaikkaan ja kaavaan liittyvät kysymykset
- eri tavoitteiden ja vaatimusten ristiriitaisuuksien ja riskien tunnistaminen.

Tilaajan ja käyttäjien vaatimusten täsmällinen asettaminen palvelee useaa tarkoitusta. Sillä rakennetaan perusta sopimuksille ja hankkeen budjetille sekä edellytykset suunnittelun käynnistämiseksi. Tilaajan ja käyttäjien tarpeita ja vaatimuksia kartoittaessa ei

Tarveselvitys ja hanke-suunnittelu	Suunnittelu	Toteutus-suunnittelu	Rakentaminen	Toimintakokeet, säädöt ja luovutus	Käyttö ja ylläpito
------------------------------------	-------------	----------------------	--------------	------------------------------------	--------------------

yleensä päästä suoraan täsmällisiin suunnittelukriteereihin. Tämä johtuu siitä, että tilaaja ja käyttäjät eivät useinkaan osaa tai ehdi riittävän kattavasti määrittellä tarpeitaan.

Tarveselvitysvaiheen ToVa-tehtävien suorittaja voi olla tilaajan hankevalmistelija, pääsuunnittelija tai ToVa-toiminnasta vastaava. Asia riippuu siitä, millaisilla resursseilla tilaaja on päättänyt tehdä tarvemäärittelyä ja missä vaiheessa hanketta nimetään ToVa-toiminnasta vastaava.

Hankesuunnittelu

Hankesuunnitelman aikana tilaaja täsmentää tarpeensa ja määrittää tilanhankintastrategiansa. Hankkeen laajuus- ja ominaisuustavoitteet on silloin pääosiltaan määritelty. Hankkeelle on myös asetettu budjettiraami. Nämä tavoitteet on muunnettava konkreettisiksi ja toteuttamiskelpoisiksi suunnittelutavoitteiksi. Tavoitteet tarkennetaan sisäilmasto-, energiatehokkuus-, turvallisuus-, muuntojoustavuus- ja elinkaarikustannusten näkökulmista.

Hankesuunnitteluun liittyviä ToVa-tehtäviä ovat

- suunnittelutavoitteiden ja suunnittelun lähtötietojen tarkistus
- eri tavoitteiden välisten ristiriitaisuuksien havaitseminen
- hankkeen riskien ja vaativuuden arviointi ToVa-kannalta
- alustavat ToVa-suunnitelmat hankkeen päävaiheisiin
- toimivuuden varmistamisen organisointi ja vastuunjako
- ToVa-budjetin suunnittelu
- tilaajan valitseman hankintamallin vaikutukset ToVan organisointiin.

Tilaajan tavoitemäärittelystä tarkistetaan mm. seuraavia asioita:

RAKENNUKSEEN LIITTYVÄT TAVOITTEET

- Rakennuksen esteettiset tavoitteet
- Tilojen määrälliset ja laadulliset tavoitteet
- Käyttäjävaatimukset sekä käyttäjien määrä ja vaihtuvuus
- Tarpeet muunneltavuudelle ja laajennettavuudelle
- Saavuttavuuteen liittyvät vaatimukset
- Rakennusjärjestyksen ja asemakaavan vaatimukset
- Ympäristötavoitteet

Tarveselvitys ja hanke-suunnittelu	Suunnittelu	Toteutus-suunnittelu	Rakentaminen	Toimintakokeet, säädöt ja luovutus	Käyttö ja ylläpito
------------------------------------	-------------	----------------------	--------------	------------------------------------	--------------------

- Vaatimukset sisäilmastolle
- Tietoliikennepalvelut
- Akustiset ja valaistukseen liittyvät vaatimukset
- Turvallisuusvaatimukset
- Materiaalien, tuotteiden ja laitteiden laatu- ja toimivuusvaatimukset
- Eri järjestelmien integrointivaatimukset
- Takuuajat
- Tavoitteet energiankulutukselle
- Rakennettavuusvaatimukset
- Rakennuksen mittaroinnit ja raportoinnit

HANKKEESEEN JA RAKENNUKSEN KÄYTTÖÖN LIITTYVÄT TAVOITTEET

- Projektin aikataulu ja budjetti
- Vaatimukset projektin dokumentaatiolle ja toimivuuden todentamiselle
- Käyttöönottovaatimukset ja aikataulu
- Tavoiteltavat tilanhankintamallit
- Toimivuuden varmistusprosessin laajuus ja budjetti
- Perehdyttämistarpeet tilaajan ja kiinteistöhoitohenkilöstön osalta
- Kiinteistön käyttöajat vuodessa, viikossa ja vuorokaudessa
- Sovellettavat määräykset ja standardit
- Kiinteistön ja sen järjestelmien käyttö- ja hoitokriteerit
- Käyttöohje- ja huoltokirjat

Vaatimusten esittämiseen ja asettamiseen on olemassa erilaisia menetelmiä ja lomakkeita. Kun tilaajan ja käyttäjien tarpeet käännetään suunnittelutavoitteiksi, toimivuusvaatimukset tulee esittää selkeinä laatukriteereinä ja lukuarvoina. Vaatimusten asettamiseen on kehitetty myös tietoteknisiä sovelluksia, joissa tavoitteiden käsittely numeerisesti on jo lähtökohtana. Vaatimusten asettamisen apuna voidaan käyttää RT-kortteja sekä vaatimus- ja tavoitesuuntautuneita tarkistuslistoja. Tavoitteiden asettamisessa on huomioitava etenkin sisäilmasto, energiankulutus ja energiakustannukset.

Tarveselvitys ja hanke-suunnittelu	Suunnittelu	Toteutus-suunnittelu	Rakentaminen	Toimintakokeet, säädöt ja luovutus	Käyttö ja ylläpito
------------------------------------	-------------	----------------------	--------------	------------------------------------	--------------------

Asiakastarpeiden määrittely ja sisäilmasto- ja energiatehokkuusvaatimusten asettaminen vaihtelee paljon eri projekteissa. Joissakin hankkeissa tilakohtaiset vaatimukset saataan määrittää varsin täsmällisesti. Toisissa hankkeissa määrittelyt saattavat puuttua joko kokonaan tai osittain. Viitataan vain yleisesti rakentamismääräyksiin. Toimivuuden varmistuksen tehtävänä on jälkimmäisessä tapauksessa huolehtia riittävästä tavoitteiden täydentämisestä.

Tarvitaan selkeä suunnittelumalli, jossa asiakastarpeet (tavoitteet ja vaatimukset) on esitetty numeerisesti. Käyttöönottossa toteutusta verrataan näihin numeerisiin arvoihin. Uusia työkaluja tarvitaan numeeristen sisäilmastoa ja energiatehokkuutta esittävien tavoitteiden asettamiseen ja saavuttamisen todentamiseen. Ideaalitulanteessa nämä kaksi näkökulmaa on yhdistetty kattavaksi ja yhteneväiseksi mittaristikoksi. Mittariston tulisi olla pikemminkin tavoitehakuinen kuin ongelmakeskeinen, joskin mittariston avulla on voitava hakea esille järjestelmien ja säätöjen ongelmia käyttövaiheessa.

Tarvittavat toimivuuden varmistustoimenpiteet esitetään suunnittelu- ja urakkasopimuksissa. Suunnittelusopimukseen voidaan liittää maininta käyttäjän käsikirjan laadinnasta. Sopimukseen liittyvät toimivuuden varmistamisen menettelyt tulee kuvata rakennuttajien laatujärjestelmissä, kuten myös systematiikkaan liittyvät vastuukysymysten pelisäännöt.

Tarveselvityksen ja hankesuunnittelun aikana järjestetään erilaisia suunnittelukokouksia. Niiden yhteydessä ja lisäksi tulisi pitää ToVa-katselmuksia ainakin suuremmissa hankkeissa:

- Suunnittelutavoitteet vastaavat tilaajan ja käyttäjien tarpeisiin.
- ToVa-suunnitelmassa esitetyt tehtävät on suoritettu.
- Rakennussuunnittelun käynnistämiseksi on selkeät lähtökohdat.

4.1.2 Sisäilmaston tavoitteiden asettaminen

Sisäilmastolle asetetut tavoitetasot mahdollistavat lopputuloksen sitomisen kyseisiin lukuarvoihin. Nykyisen tietämyksen mukaan tämä ei ole mahdollista kaikkien suureiden osalta luotettavasti. Monien ilmanlaatua koskevien mittausten ja tulosten tulkinnessa on vielä tehtävä kehitystyötä, ennen kuin ne saadaan kaikkia osapuolia tasapuolisesti kohtelevalle tasolle. Tällä hetkellä rakentamisen ja kiinteistöhoitoon sopimukseen soveltuvat suureet ovat

- huonelämpötila

Tarveselvitys ja hanke-suunnittelu	Suunnittelu	Toteutus-suunnittelu	Rakentaminen	Toimintakokeet, säädöt ja luovutus	Käyttö ja ylläpito
------------------------------------	-------------	----------------------	--------------	------------------------------------	--------------------

- lattian pintalämpötila
- lämmitys- ja ilmastointilaitteiden äänitaso
- radonpitoisuus
- hiilidioksidipitoisuus.

Sisäilmastotavoitteissa voidaan viitata esim. Sisäilmastoluokitukseen. Asetettujen vaatimusten täyttyminen yleisesti ja myös Sisäilmastoluokituksen osalta kaikilta yksityiskohdilta kaikissa tiloissa on epätodennäköistä. Siksi on tärkeää määritellä myös hyväksytyt poikkeamat luokituksen arvoista ja siitä, miten sisäilmastavoitteiden toteutuminen mitataan. Sisäilmastoluokituksen lisäksi voidaan asettaa omia yksityiskohtaisia sisäilmastotavoitteita, esim. käyttäjätyytyväisyys ja luonnonvalon hyödyntämistavoite.

Sisäilmaston osalta tilaajan ja käyttäjän tarpeet ja tavoitteet voidaan esittää ja jäsentää Sisäilmastoluokituksen avulla. Luokitus on jaettu kolmeen osaan, joista käyttäjä voi valita yhden tai useamman osion. Osiot esitetään taulukossa 7.

Taulukko 7. Sisäilmastoluokituksen osiot.

	S1	S2	S3	P1	P2	M1	M2
Sisäilmaston tavoitearvot (S)							
Lämpöolot							
Ilmanlaatu							
Akustiset olosuhteet							
Suunnittelu- ja toteutusohjeet (S, P)							
Rakennustöiden puhtausluokitus							
Talotekniset suunnitteluarvot:							
• Jäähdytys- ja lämmitysjärjestelmän mitoitusarvot							
• Ulkoilmavirtojen mitoitusarvot							
• Lämmitys- ja ilmastointilaitteiden äänitasot							
• Tuloilman suodatus ja ilmanvaihdon puhtausluokka							
• Ulkovaipan ilmanpitävyyden arvot							
Ilmanvaihtojärjestelmän puhtausluokitus							
Vaatimukset rakennustuotteille (M)							
Rakennusmateriaalien päästöluokitus							
Ilmanvaihtotuotteiden puhtausluokitus							

Tarveselvitys ja hanke-suunnittelu	Suunnittelu	Toteutus-suunnittelu	Rakentaminen	Toimintakokeet, säädöt ja luovutus	Käyttö ja ylläpito
------------------------------------	-------------	----------------------	--------------	------------------------------------	--------------------

Sisäilmaston ja myös energiatehokkuuden suhteen voidaan hyväksyä esim. se, että ensimmäinen käyttövuosi on rakennuksen koekäyttöä, jolloin energiankulutus saa olla lopullista tavoitettaan suurempi eikä sisäilmaston kaikkia tavoitteita saavuteta.

4.1.3 Energiatehokkuuden tavoitteiden asettaminen

Euroopassa on laadittu rakennusten energiatehokkuusdirektiivin (2002/91/EY) edellyttämänä kansallisia luokituksia rakennusten energiatehokkuudelle. Rakennuttaja voi yksinkertaisesti ilmaista energiatehokkuustavoitteensa kodinkoneista tutun energiamerkintäluokituksen tapaan siten, että hän haluaa energiatehokkuudeltaan esimerkiksi B-luokan rakennuksen.

Energiatehokkuusluokan lisäksi rakennuttaja voi asettaa esimerkiksi lämpöhäviöille, rakennusosille tai laitteille vähimmäisvaatimuksia (esim. ikkunoiden U-arvoille ja ilmanvaihtojärjestelmän ominaissähköteholle).

Uusi vuoden 2008 alusta Suomessa voimaan tuleva lainsäädäntö edellyttää että ”energiatehokkuus ilmaistaan tässä asetuksessa säädetyllä tavalla rakennuksen energiatehokkuusluvulla, joka saadaan jakamalla rakennuksen tarvitsema vuotuinen energiamäärä rakennuksen bruttopinta-alalla” (Ympäristöministeriön asetus rakennuksen energiatodistuksesta 765/2007 1 §).

”Rakennuksen käyttöön tarvittava energiamäärä on arvioitava luotettavien energian kulutustietojen perusteella tai laskettava menetelmällä, joka ottaa huomioon rakennuksen lämpöominaisuudet, lämmityslaitteet ja lämpimän veden jakelun, ilmanvaihdon ja ilmastointilaitteet sekä muissa kuin asuinrakennuksissa kiinteän valaistusjärjestelmän. Rakennuksen energiatehokkuuden arvioinnissa on otettava huomioon sisäilmasto-olosuhteet” (Laki rakennuksen energiatodistuksesta 487/2007 2 §).

Rakennuksen energiankulutuksella tarkoitetaan uusissa määräyksissä ja ohjeissa vuotuista lämmitykseen, sähkölaitteisiin ja jäähdytykseen yhteensä kulutettua energiamäärää, johon ei sisälly eri energiamuotojen kiinteistökohtaisen eikä kiinteistön ulkopuolisen energiantuotannon häviöitä. Energiatehokkuusluku (ET-luku) lasketaan aina Jyväskylän säätiötojen (Ilmatieteen laitoksen testivuosi 1979) mukaan.

Tarveselvitys ja hanke-suunnittelu	Suunnittelu	Toteutus-suunnittelu	Rakentaminen	Toimintakokeet, säädöt ja luovutus	Käyttö ja ylläpito
------------------------------------	-------------	----------------------	--------------	------------------------------------	--------------------

Kiinteistökohtainen energiantuotantotapa ja sen häviöt (esimerkiksi lämmityskattilan hyötysuhde tai lämpöpumpun lämpökerroin) otetaan huomioon rakennuksen ostoenergiankulutuksen laskennassa.

Rakennuksen pinta-ala voidaan laskea käyttäen eri mittoja (mm. sisämitat, kokonaissisämitat, jotka sisältävät väliseinien alle jäävän lattia-alan, ja ulkomitat). Siksi energiatehokkuuden laskennassa käytetty pinta-ala täytyy aina spesifioida. Rakennuksen energiatodistuksessa energiatehokkuusluvun laskennassa käytetään standardin SFS 5139 mukaan määriteltyä rakennuksen bruttopinta-alaa.

Rakennuksen kokonaisenergiankulutustavoitteen lisäksi energiankulutus olisi mahdollisuuksien mukaan yksilöitävä komponenteittain esim. seuraavasti:

- huonetilojen lämmitysenergia (kWh/m²a)
- jäähdytysenergia (kWh/m²a)
- koneellisen ilmanvaihdon lämmitysenergia (kWh/m²a)
- lämpimän käyttöveden kulutus (m³/a)
- LVI-laitteiden sähkönkulutus (kWh, kWh/m²a)
- valaistusenergiankulutus (kWh/m²a)
- energiatehokkuuden määrittely voi sisältää myös maininnan suurimmista sallituista lämmitys- ja jäähdytystehoista.

Rakennuksen energiatehokkuuden arvioimisessa ja varmistamisessa on oleellista selkeästi asetettujen tavoitteiden vertaaminen laskennallisiin tuloksiin ja myöhemmin elinkaaren aikana mittaustuloksiin. Käyttöönottovaiheessa laskennallista ja mahdollisuuksien mukaan mitattavaa energiatehokkuutta ja sen osatekijöitä verrataan suunnittelun yhteydessä määritettyihin tavoitteisiin. Myös suunnittelun ja etenkin rakentamisen aikana tehtyjen suunnitelmien muutosten vaikutukset alkuperäisiin tavoitteisiin verrattuna on selvitettävä.

Rakennuksen energiatehokkuus voidaan ilmaista eri tavoin. Tärkeää on, että energiatehokkuus ilmoitetaan riittävän yksityiskohtaisesti, kuten myös se, miten esitetty energiatehokkuustavoite on saatu. Tämä sisältää mm. sen, että esitetään energiatehokkuuden määrittämisessä käytetty laskentamenetelmä ja sen yksilöidyt laskentaperusteet (mm. sää, sisäiset lämpöenergiat, ilmavirrat ja niiden käyttöajat, laitteiden hyötysuhteet).

Rakennuksen energiankulutus tai energiatehokkuus voidaan ilmaista kokonaan, tiettyjen kulutusten osalta absoluuttisena kulutuksena (kWh), lattiapinta-alaa kohti laskettuna kulutuksena (kWh/m²a) tai energiatodistuksen energialuokkana (A...G). Energiatehok-

Tarveselvitys ja hanke-suunnittelu	Suunnittelu	Toteutus-suunnittelu	Rakentaminen	Toimintakokeet, säädöt ja luovutus	Käyttö ja ylläpito
------------------------------------	-------------	----------------------	--------------	------------------------------------	--------------------

kuus voidaan myös esittää energiankulutuksena suhteessa rakentamismääräysten minimitasoon (esim. matalaenergiarakennuksen tavoitekulutus 50 % määräysten vaatimustasosta).

Absoluuttisen ostoenergiankulutuksen esittämisen etu on, että siitä voidaan laskea suoraan energiakustannus.

Yksi energian käyttöön, turvallisuuteen ja kustannustehokkuuteen liittyvä näkökohta on se, että rakennuksen suunnitteluvaiheessa varaudutaan siihen, että energianlähde voidaan vaihtaa tai että sitä voidaan täydentää esim. uusiutuvilla energianlähteillä.

Asetettujen energiatehokkuustavoitteiden varmistaminen tulee mahdolliseksi vain, jos rakennuksen energiankulutus mitataan riittävän yksilöidysti. Siksi rakennuksesta tulisi mitata

- tilojen lämmityksen energiankulutus
- ilmanvaihdon energiankulutus
- käyttöveden lämmityksen energiankulutus
- jäädytyksen energiankulutus
- valaistuksen energiankulutus
- LVI-laitteiden energiankulutus
- mahdollisten erillisten suurten energiankulutuskohteiden (esim. tietokoneet, laitteet) energiankulutus.

Vaatimusten asettamisvaiheessa määritetään käyttäjän tarpeet, jotka vaikuttavat siihen, millainen energiatehokkuuden taso on mahdollista saavuttaa. Rakennuksen energiatehokkuuteen vaikuttavia tekijöitä ovat mm.

- rakennuksen muoto (vaikuttaa vaipan lämpöhäviöihin)
- ilmanvaihtotapa (vakio-/muuttuvailmavirtainen järjestelmä)
- sisäilmasto (sisälämpötila ja sisäilman puhtaustavoite)
- rakennuksen käyttö (suuret/pienet sisäiset energiat, pitkät/lyhyet käyttöajat)
- rakennusautomaatiojärjestelmän käyttö (säätöjen, ohjausten ja seurannan integroiminen samaan järjestelmään).

Viranomaisvaatimukset kohdentuvat tällä hetkellä vaippaan ja ilmanvaihtoon. Rakennusautomaatioon liittyviä viranomaismääräyksiä on vähän. LVI-laitoksia koskevat määräykset koskevat välillisesti myös automaatiojärjestelmiä.

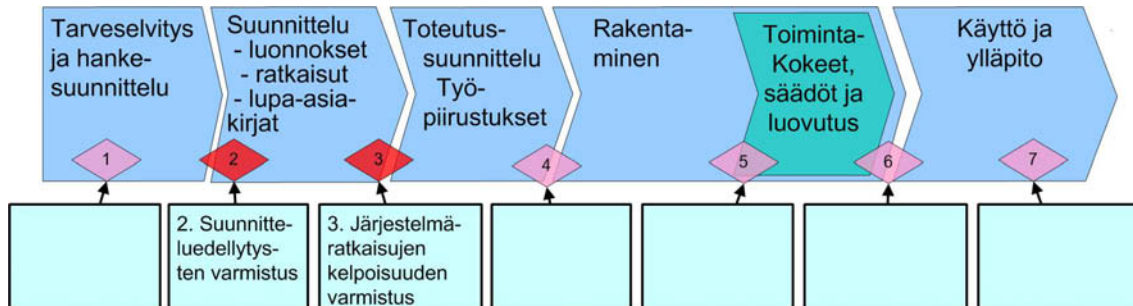
Tarveselvitys ja hanke-suunnittelu	Suunnittelu	Toteutus-suunnittelu	Rakentaminen	Toimintakokeet, säädöt ja luovutus	Käyttö ja ylläpito
------------------------------------	-------------	----------------------	--------------	------------------------------------	--------------------

- Vaipan U-arvovaatimukset ovat rakentamismääräyskokoelman osassa C3.
- Ilmanvaihtoa koskevat vaatimukset ovat rakentamismääräyskokoelman osassa D2.
- Rakennusten yleiset energiatehokkuutta koskevat vaatimukset ovat rakentamismääräyskokoelman osassa D3 (ns. uusi D3).
- Lämmityksen energiatarpeen laskentamenetelmä kuvataan rakentamismääräyskokoelman osassa D5.
- Vesi- ja viemäri-laitteistoja sekä sade- ja salaojalaitteistoja koskevat määräykset esitetään rakentamismääräyskokoelman osassa D1.
- Meluntorjuntaan liittyvät määräykset esitetään rakentamismääräyskokoelman osassa C1.

Viranomaisvaatimukset löytyvät Internetistä osoitteesta <http://www.ymparisto.fi/>.

Tarveselvitys ja hanke-suunnittelu	Suunnittelu	Toteutus-suunnittelu	Rakentaminen	Toimintakokeet, säädöt ja luovutus	Käyttö ja ylläpito
------------------------------------	--------------------	----------------------	--------------	------------------------------------	--------------------

4.2 Suunnittelu



4.2.1 Suunnitteluedellytysten varmistaminen

Vaihtoehdot suunnitteluratkaisut

Useissa rakennushankkeissa suunnittelu käynnistyy luonnossuunnittelulla. Arkkitehti laatii hankesuunnittelussa määritetyn tilaohjelman ja muiden suunnitteluvaatimusten perusteella muutamia vaihtoehtoisia massoittelu- ja tilaratkaisuja. Näistä tilaaja valitsee jatkosuunnitteluun soveltuvimmat vaihtoehdot. Luonnossuunnitteluun on hyödyllistä liittää myös taloteknisten järjestelmävaihtoehtojen tarkastelut. Tilaohjelman ja luonnosten perusteella voidaan jo laatia hankkeen ensimmäisiä kustannusarvioita.

Rakennuksen järjestelmien asennusten, käytön ja huollon kannalta koko suunnittelutiimin kokoaminen jo suunnitteluvaiheen alussa on vähintäänkin suositeltavaa. Talotekniset järjestelmät tarvitsevat omat tila- ja reittivarauksensa. Ellei niihin ole riittävästi varauduttu tilasuunnittelun yhteydessä, joudutaan suunnitteluratkaisuja muuttamaan myöhemmissä vaiheissa tai sijoittamaan talotekniset järjestelmät ahtaasti rakenteisiin.

Luonnossuunnitelmien perusteella voidaan tehdä varsin hyvin jo energiataselaskelmia. Kun tilaaja on asettanut rakennukselle energiatehokkuustavoitteet, voidaan tutkia, millaisilla ratkaisuilla tavoitteisiin on mahdollista päästä. Tuotemallintamiseen perustuvassa suunnittelussa voidaan tutkia myös vaihtoehtoisten ilmastointi-, lämmitys- ja valaistus-ratkaisujen toimivuutta.

Jos tilaaja käyttää suunnittelu- ja toteutuskilpailua tilahankinnassaan, tarjoajien ehdotukset ovat yleensä luonnostasoisia suunnitelmia. Niistä tilaaja valitsee kriteeriensä perusteella ominaisuuksiltaan ja kustannuksiltaan edullisimman ratkaisun jatkokon. Tilaajan

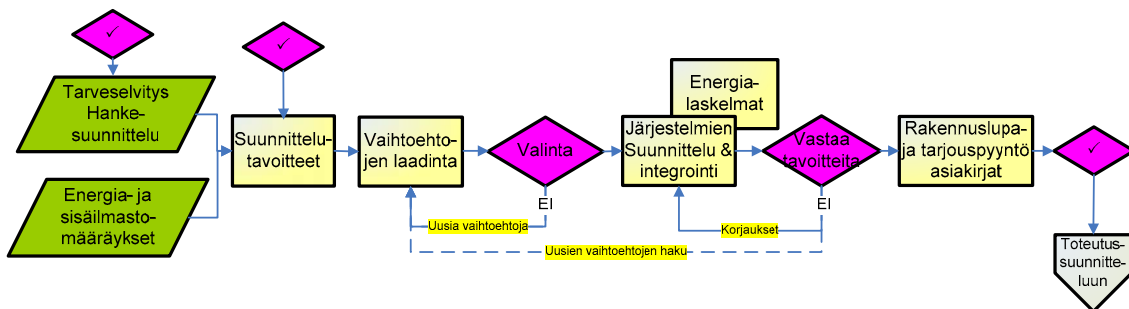
Tarveselvitys ja hanke-suunnittelu	Suunnittelu	Toteutus-suunnittelu	Rakentaminen	Toimintakokeet, säädöt ja luovutus	Käyttö ja ylläpito
------------------------------------	-------------	----------------------	--------------	------------------------------------	--------------------

vaatimusten ja rajausten mukaan tarjoajat voivat käyttää erilaisia suunnitteluratkaisuja sisäilmasto- ja energiatehokkuustavoitteiden saavuttamiseksi.

Luonnossuunnittelun loppuksi tulee pitää katselmus, jossa arvioidaan ja hyväksytään esitetyt suunnitteluratkaisut. Toteutettavaksi valituista ratkaisuista kehitetään pääsuunnitelmat.

Suunnitteluratkaisujen laadinta

Suunnitteluvaiheessa laaditaan ja valitaan esillä olevista vaihtoehdoista lopulliset toteutettavat suunnitteluratkaisut ja niitä kuvaavat suunnitelmat (Kuva 17). Tuloksena ovat myös rakennuslupaan tarvittavat suunnitteluasiakirjat. Suunnittelun asiakirjat mahdollistavat hankintasuunnittelun käynnistämisen. Myös hankintojen kilpailuttaminen on mahdollista, jos kauppaa käydään laajempina tuote- tai järjestelmäkokonaisuuksina. Tällöin myös detaljisuunnittelua voidaan ainakin osin siirtää toimittajien vastuulle.



Kuva 17. Suunnitteluratkaisujen kehittäminen, arviointi ja hyväksyntä.

Suunnitteluvaihe on sisäilmaston ja energiatehokkuuden kannalta kaikkein keskeisin vaihe rakennushankkeessa. Myöhemmissä hankkeen vaiheissa pääpaino on saada valittujen suunnitteluratkaisujen ominaisuuksista hyödyksi mahdollisimman suuri osa ja estää suunnittelu-, asennus- ja käyttövirheet. Siinä eri järjestelmien keskinäisellä integroinnilla on merkittävä rooli.

Suunnitteluvaiheen lopussa järjestetään katselmus, jossa arvioidaan suunnitteluratkaisujen vastaavuus tavoitteisiin. Hyväksynnän jälkeen voidaan siirtyä rakennuslupa-asiakirjojen viimeistelyyn ja toteutussuunnitteluun.

Tarveselvitys ja hanke-suunnittelu	Suunnittelu	Toteutus-suunnittelu	Rakentaminen	Toimintakokeet, säädöt ja luovutus	Käyttö ja ylläpito
------------------------------------	--------------------	----------------------	--------------	------------------------------------	--------------------

Osapuolien tehtävät ja vastuut suunnitteluvaiheen toimivuuden varmistamisessa

Seuraavassa kuvataan hankkeen tilaajan, rakennuttajapäällikön, ToVa-toiminnan vetäjän ja suunnittelijan tehtävät suunnitteluvaiheen aikaisessa toimivuuden varmistamisessa. Tehtäväkuvaukset on tehty hyödyntäen lähdettä ASHRAE Guideline 0P (2004).

Hankkeen tilaaja

- tarkentaa kiinteistölle ja sen käytölle asetettuja tavoitteita
- tarkistaa ja hyväksyy tilaajan tavoitteisiin ehdotetut muutokset
- tarkastaa ja hyväksyy suunnitteluratkaisut tilaajan ja käyttäjien kannalta
- valitsee kiinteistön isännöinti- ja hoito-organisaation ja velvoittaa sen osallistumaan projektin kokouksiin, koulutuksiin ja tarkastuksiin.

Rakennuttajapäällikkö

- määrittelee suunnittelusopimukseen velvoitteet ToVa-toimintaan osallistumisesta
- sisällyttää kaikki suunnitellut ToVa-vaatimukset ja -tehtävät eri hankintasopimukseen
- tarkastaa ja antaa palautetta toimivuuden varmistuksen tilanneraportteihin
- osallistuu ToVa-prosessiin riittävällä panostuksella
- osallistuu suunnittelukatselmuksiin.

ToVa-toiminnan vetäjä

- johtaa ToVa-toimintaa ja -tiimiä
- kehittää ja dokumentoi tilaajan hankevaatimukset yhdessä pääsuunnittelijan kanssa
- varmistaa, että ToVa-tehtävät ja -tavoitteet ovat selkeät hankkeen kaikissa vaiheissa
- tahdistaa ToVa-toimet hankkeen aikatauluihin
- laatii ToVa-suunnitelman ja päivittää sekä täydentää suunnitelmaa rakennushankkeen eri vaiheissa
- tarkistaa ja kommentoi rakennussuunnitelmia
- valmistelee toimivuuden varmistamiseen liittyvien määritysten sisällyttämistä suunnitteluasiakirjoihin ja urakkasopimukseen
- johtaa ToVa-prosessia hankkeessa, dokumentoi tulokset, järjestää tarvittavat kokoukset ja toimii ToVa-kokousten puheenjohtajana
- tarkistaa yhdessä pääsuunnittelijan kanssa, että suunnitteluratkaisut vastaavat tilaajan vaatimuksia
- huolehtii kiinteistön käytävyyden kannalta järjestelmien ja laitteiden saavutettavuudesta
- aikatauluttaa suunnittelukatselmuksia yhdessä pääsuunnittelijan kanssa

Tarveselvitys ja hanke-suunnittelu	Suunnittelu	Toteutus-suunnittelu	Rakentaminen	Toimintakokeet, säädöt ja luovutus	Käyttö ja ylläpito
------------------------------------	--------------------	----------------------	--------------	------------------------------------	--------------------

- ottaa käyttöön ToVa-päiväkirjan, jota käytetään rakennushankkeen kaikissa vaiheissa
- organisoii koko rakennuksen käyttö- ja huoltokirjojen kokoamisen
- tarkentaa ToVa-suunnitelmaa toteutussuunnittelua varten
- tarkistaa, että kaikki ToVa-tehtävät on suoritettu.

Suunnittelijat

- tallentavat suunnitteluvaatimukset
- kehittävät toimivat ja energiatehokkaat suunnitteluratkaisut, jotka täyttävät tilaajan vaatimukset
- osallistuvat ToVa-kokouksiin
- suunnittelevat ja osoittavat, että järjestelmien ja asennusten käyttö- ja huoltotarpeet on esitetty riittävän yksityiskohtaisesti
- tarkistavat ToVa-vetäjän tai -tiimin esittämät kommentit suunnitelmista
- tarkistavat ja kommentoivat ToVa-tiimin tilanneraportit ja tapahtumapäiväkirjat.

Suunnittelutavoitteet ja -edellytykset

Omistajan ja rakennuttajan keskeisten suunnittelutavoitteiden täytyy olla kirjattuina sisäilmaston, energiatehokkuuden, turvallisuuden ja muuntojoustavuuden osalta. Rakentamismääräykset ovat vähimmäisvaatimuksia.

Keskeisiä suunnitteluedellytyksiä ovat seuraavat:

- Omistajan ja rakennuttajan tavoitteet on kirjattu riittävän yksilöidysti.
- Suunnittelun lähtötiedot on dokumentoitu ja on sovittu, ketkä voivat antaa täydentävää informaatiota.
- Suunnittelusopimukset on tehty, jotta suunnittelutiimi voidaan koota.
- Suunnitteluun ja rakentamiseen on varattu realistinen aikataulu ja budjetti.
- Suunnitteluorganisaatiolla on tehtäviin riittävä pätevyys (tehtävän vaativuus huomioon ottaen).
- Suunnittelun ja sen valvonnan vastuualueet on jaettu. Erityisen tärkeää on pitää huolta eri vastuualueiden suunnitelmien yhteensovittamisesta (esim. jäähdytys ja ilmanvaihto; lämmitys ja ilmanvaihto; vaippa [esim. ikkunat] ja jäähdytys).
- Riittävästi tilaa on varattu talotekniikan reitityksille. Eri suunnittelualojen suunnittelijoilta on edellytettävä yhteistyötä ja eri osa-alueiden ottamista huomioon omassa osasuunnittelussa.

Tarveselvitys ja hanke-suunnittelu	Suunnittelu	Toteutus-suunnittelu	Rakentaminen	Toimintakokeet, säädöt ja luovutus	Käyttö ja ylläpito
------------------------------------	-------------	----------------------	--------------	------------------------------------	--------------------

- Sovitaan siitä, haluaako omistaja ja rakennuttaja vaihtoehtoisia suunnitelmia ja miltä alueilta vai tekevätkö suunnittelijat suunnitelmat vain omasta mielestään järkevimmistä ratkaisuista.
- Mittarointien suunnittelulle on asetettu tavoitteet sisäilmaston ja energiatehokkuuden osalta.
- Suunnittelijoiden on määritettävä sallitut vaihteluvälit keskeisille suureille (energia-tehokkuus, sisälämpötilat, hiilidioksidi, jälkikaiunta-ajat, ääneneristys...).
- Sovitaan menettely poikkeamien käsittelyyn.

Seuraavassa luetellaan esimerkkejä asioista, jotka omistaja voi määritellä:

- suunnitteluratkaisujen valinta ehdolla olevista vaihtoehdoista
- pintamateriaalien valinta
- lämmönjakojärjestelmän valinta: patteri- tai lattialämmitys kokonaan tai osittain, patterityyppien valinta esim. arkkitehtonisilla perusteilla
- ilmanvaihtojärjestelmän valinta, jako vyöhykkeisiin, tuloilmaelimet, lämmön talteenottolaitteet ja automaatiojärjestelmä
- jäähdytysjärjestelmän tyyppi
- panostus esim. uusiutuvan energian käyttöön
- muuntojoustavuuden määrä eri järjestelmien osalta
- mitattavat tavoitteet
- mitataanko vain kokonaiskulutukset vai halutaanko selvittää, mihin energiaa kuluu (ns. alamittaukset) ja vielä, miksi sitä kuluu (edellyttää lämpötila-, virtaus ja painemittauksia)
- kuinka tarkasti sähkönkulutus halutaan mitata kulutuslajeittain ja käyttäjittäin
- millaisia kalusteita (esim. vesikalusteet, valaisimet) valitaan.

Suunnitteluvaiheessa tehdään hankkeen onnistumisen kannalta oleelliset päätökset. Asiakastarpeet esitetään tässä vaiheessa rakentajien ja muiden toteuttajien käyttöön mm.

- järjestelmäkuvauksina ja erittelyinä
- ohjeina
- luetteloina
- selityksinä
- piirustuksina.

Suunnitteluratkaisujen tulee vastata tilaajan tavoitteisiin. Jos tilaajan tavoitteita ei joiltakin osin ole mahdollista täyttää, on se dokumentoitava myöhempien epäselvyyksien

Tarveselvitys ja hanke-suunnittelu	Suunnittelu	Toteutus-suunnittelu	Rakentaminen	Toimintakokeet, säädöt ja luovutus	Käyttö ja ylläpito
------------------------------------	--------------------	----------------------	--------------	------------------------------------	--------------------

välttämiseksi. Tilaaja voi myös itse valita suunnitteluratkaisuja, jotka eivät täytä alkuperäisiä tavoitteita. Suunnitteluratkaisujen tulosta arvioidaan vertaamalla niitä tavoitteisiin.

Tilaajan tavoitteet on säilytettävä hyvin dokumentoituna toteutussuunnittelua varten. Myöhemmissä suunnitteluvaiheissa joudutaan pohtimaan eri ratkaisuvaihtoehtoja tai on löydetty vaikeasti ratkaistava ongelmakohta. Silloin on käytävä usein tarkistamassa alkuperäisistä tavoitteista, millaisia ominaisuuksia ja toimivuutta rakennukselle tavoitellaan. Alkuperäisiä tavoitteita ei saa muuttaa toteutussuunnittelulla, ellei tästä erityisesti päätetä.

Pääsuunnitteluvaiheessa tarvitaan usean erikoisosaamisen yhteensovittamista. Esimerkiksi käyttäjien viihtyvyyteen uudessa rakennuksessa vaikuttavat mm. ikkunoiden ominaisuudet ja pinta-alat, ilmanvaihdon määrä, ilman puhtaus ja lämpötila. Nämä seikat ovat riippuvaisia tiloissa olevista lämpökuormista, ikkunoista tulevasta auringonsäteilystä tai talvella ”kylmäsaiteilystä”, ilman lämmityksestä tai jäähdytyksestä, ilmavirtojen nopeudesta, äänikuormista ja lämmitysjärjestelmästä. Tarvitaan arkkitehdin, rakennesuunnittelijan, talotekniikan suunnittelijoiden ja käyttäjän itsensä tekemien ratkaisujen (koneiden ja laitteiden käyttö) yhteensovittamista.

Kokeneet suunnittelijat pystyvät normaaleissa kohteissa selviytymään yleensä hyvin sekä edellä mainittujen että muiden asiakastarpeiden yhteensovittamisesta. Erikoiskohteissa, tai kun toimitaan tuntemattomassa suunnitteluryhmässä, tarvitaan **toimivuuden varmistuskatselmuksia**, joissa arvioidaan eri järjestelmien yhteensopivuus hankkeen asiakastavoitteiden suhteen.

Järjestelmävalintojen jälkeen suunnittelu etenee suunnitteluratkaisujen kuvaamisella muun muassa pääpiirustuksina, työselityksinä ja urakkarajoina. Ennen rakennusluvan hakemista ja toteutussuunnittelun aloittamista tarvitaan **suunnitelmakatselmus**. Siinä hyväksytään rakenne- ja talotekniikkajärjestelmäkohtaiset suunnittelun tulokset ja varmistetaan, että ne ovat yhteensopivia keskenään.

Toimivuuden varmistukseen liittyvät tarkistukset voidaan tehdä tämän katselmuksen yhteydessä, jotta varmistetaan, että asiakirjoista ei puutu toimivuuden ja energiatehokkuuden kannalta oleellisia tavoitteita ja tehtäviä.

Tarveselvitys ja hanke-suunnittelu	Suunnittelu	Toteutus-suunnittelu	Rakentaminen	Toimintakokeet, säädöt ja luovutus	Käyttö ja ylläpito
------------------------------------	--------------------	----------------------	--------------	------------------------------------	--------------------

Eri järjestelmien välinen integraatio

Keskeinen ongelma nykyisessä tavoiteasetannassa ja toimivuuden todentamisessa on, että tavoitteita asetetaan yksittäisille järjestelmille, mutta järjestelmien kelpoisuutta ei tarkisteta riittävän systemaattisesti koko rakennuksen toimivuuden kannalta. Esimerkiksi sisäilmastoon vaikuttavat useat järjestelmät. Kukin järjestelmä voi toimia yleisen käsityksen mukaan moitteettomasti, mutta järjestelmien yhteisvaikutukset eivät täytä tilaajan ja käyttäjän tarpeita.

Eri järjestelmien välistä integraatiota on käsiteltävä riittävän yksityiskohtaisesti hankkeen eri vaiheissa:

- rakennus
- ulkovaippa
- tilat ja akustiikkaan vaikuttaminen
- lämmitys
- ilmastointi ja jäähdytys
- sähkö ja valaistus
- automaatio
- vesi, viemäri ja salaoja.

Oleellinen kysymys on myös rakenteiden ja järjestelmien kestävyys sekä huollon ja korjausten tarve. Nämä tavoitteet on sisällytettävä osaksi muita suunnittelutavoitteita.

Muuntojousto

Tulevaisuudessa rakennuksen käytettävyys ja muuntojousto sekä tilankäytön tehokkuus nousevat enemmän esille jo tuottovaatimustenkin takia. Suunnitteluvaiheessa rakennuksen tilat ja käyttö on kuitenkin kiinnitettävä tietyllä käyttötasolle, esimerkiksi tietyllä kävijämäärälle, käyttöajalle ja kuormitukselle. Kun käyttötarkoitusta muutetaan tai tilankäyttöä tehostetaan, on tarkasteltava myös ilmanvaihto- ja lämmitysjärjestelmän ja rakennusautomaation mahdollisuuksia tuottaa vaatimukset täyttävä sisäilmasto uusissa olosuhteissa. Suunnitteluvaiheessa voidaan vaikuttaa tietyissä rajoissa myös tilojen joustavaan käyttöön.

Rakennuksen toimivuudelle, energiatehokkuudelle ja sisäilmastolle tulee määrittää tilaajan edustajan asettamat, käyttötarkoituksen mukaiset, selkeästi ja yksiselitteisesti asetetut vaatimukset. Rakennuksen tilaajalla, käyttäjällä tai omistajalla voi olla muita kuin pelkästään energiatehokkuutta tai sisäilmastoa koskevia vaatimuksia rakennukselle.

Tarveselvitys ja hanke-suunnittelu	Suunnittelu	Toteutus-suunnittelu	Rakentaminen	Toimintakokeet, säädöt ja luovutus	Käyttö ja ylläpito
------------------------------------	--------------------	----------------------	--------------	------------------------------------	--------------------

Rakennusmääräykset ja energiatehokkuutta sekä sisäilman laatua koskevat määräykset, ohjeet ja suositukset asettavat reunaehdot, joiden puitteissa rakennuksen ja sen järjestelmien tulee toimia.

Ilmasto-olosuhteiden takia rakennusfysiikka rajoittaa Suomessa suunnitteluratkaisuja, tai ainakin lämpö- ja kosteustekninen toimivuus tulisi detaljisuunnittelussa ottaa huomioon. Tällä hetkellä osassa uudisrakennuksia on rakenteita, jotka yhdessä valitun lämmitystai ilmanvaihtojärjestelmän kanssa voivat muodostaa olosuhderiskin, mikäli näitä rakenteita ei suunnitella riittävän huolellisesti eikä rakennusvaiheessa kiinnitetä asianmukaista huomiota kyseisiin työvaiheisiin.

Kun vanhaa kohdetta peruskorjataan tai käyttötarkoitusta muutetaan, on vanhan järjestelmän ja tarvittaessa myös rakenteiden toimivuus selvitettävä. Toimiiko olemassa oleva järjestelmä sillä tavalla kuin se aikanaan on suunniteltu, ja riittääkö järjestelmä optimikäytöllä (kun se on kunnostettu ja säädetty parhaalle mahdolliselle tasolle) täyttämään uudet vaatimukset vai tarvitaanko korjauksia?

Rakennuksen sisäolosuhteet ja energiankulutus määräytyvät pääosin suunnitteluvaiheessa. Rakennuksen sisäolosuhteet, lämpöolot ja sisäilman laatu sekä energiatehokkuus ovat usean eri tekijän yhteisvaikutuksen summa. Jo suunnitteluvaiheessa tulee kartoittaa eri osatekijöiden riskit ja niiden mahdollinen yhteisvaikutus. Syntyneet ongelmat johtuvat useimmiten monen tekijän yhteisvaikutuksesta.

Toimivuuden varmistamisprosessissa tulee jo suunnitteluvaiheessa tehdä riskimatriisi, jossa keskeisten, energiatehokkuuteen ja sisäolosuhteisiin vaikuttavien tekijöiden merkitys esitetään tavoitearvoihin verrattuna. Mikäli esimerkiksi rakennuksen vuosienergiankulutuksen tavoitearvo on 20 kWh/m³, esitetään riskienhallintamatriisissa eri osatekijöiden vaikutus energiankulutukseen:

- Miten energiankulutukseen vaikuttaa vuotoilmakertoimen (hallitsematon ilmanvaihto) nouseminen esimerkiksi tavoitearvosta 0,05 (1/h) arvoon 0,15 (1/h)?
- Mitkä tekijät vaikuttavat vuotoilmakertoimeen?
- Miten lämmön talteenoton hyötysuhteen aleneminen viidellä prosenttiyksiköllä vaikuttaa kokonaisenergiankulutukseen?
- Miten ilmamäärien kasvaminen 10 %:lla tai käyttöajan piteneminen 2 h:lla vaikuttaa energiankulutukseen?
- Liitteessä H on esimerkki, mitä merkitsee 5 %:n ja 10 %:n ylitys suunniteltuun energiankulutukseen. Laskelma osoittaa eri tekijöiden vaikutuksen energiankulutukseen.

Tarveselvitys ja hanke-suunnittelu	Suunnittelu	Toteutus-suunnittelu	Rakentaminen	Toimintakokeet, säädöt ja luovutus	Käyttö ja ylläpito
------------------------------------	--------------------	----------------------	--------------	------------------------------------	--------------------

4.2.2 Sisäilmaston toimivuuden varmistaminen

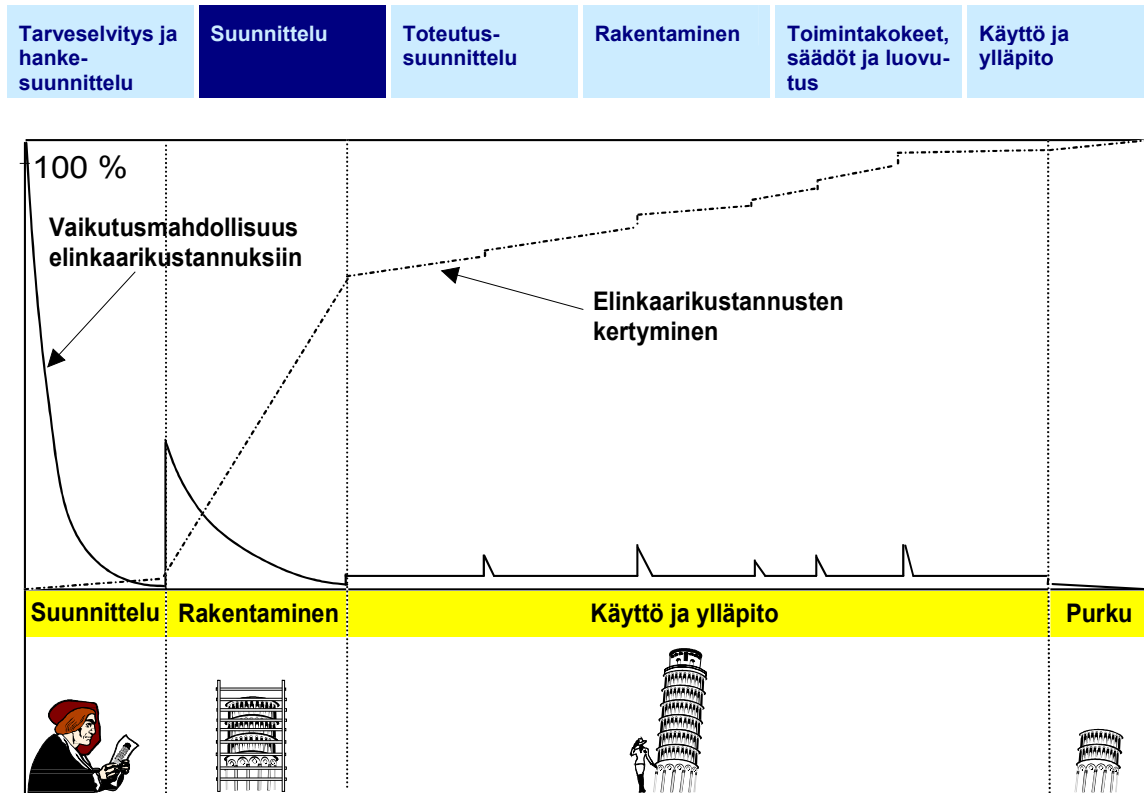
Tässä vaiheessa tarkistetaan, että tavoitteiden asetannan yhteydessä esiin tulleet tasovaatimukset, esimerkiksi sisäilmastoluokituksen osiot ja Terveen Talon kriteerit, on otettu huomioon asiakirjoissa. Mitattavat tavoitteet, todentamismenetelmät ja toleranssit on esitettävä suunnitelmissa ja huoltokirjassa (RakMK osa A4).

Toimivuuden varmistuksen tärkeitä asioita, jotka mahdollistavat luotettavan analyysin, ovat riittävän yksityiskohtaiset mittaukset. Mittaukset voidaan jaotella jatkuviin, rekisteröiviin mittauksiin ja kertamittauksiin. Toimivuuden varmistamisen kannalta olisi hyvä, että rekisteröiviä mittauksia on riittävästi.

4.2.3 Energiatohokkuuden varmistaminen

Suunnitteluvaiheessa vaikutetaan ratkaisevasti siihen, miten rakennuksen rakenteet ja talotekniset järjestelmät voivat toimia ja kuinka paljon rakennus kuluttaa energiaa. Rakennuksen energiankulutus ja kustannukset riippuvat vaipan lämmöneristyksen, poistoilman lämmöntalteenoton, energiatehokkaiden laitteiden ja automaation lisäksi merkittävästi rakennuksen käytöstä, huollosta ja ylläpidosta (Kuva 18).

Rakennuksen energiatehokkuuden perusvaatimus on hyvin lämpöeristetty ja ilmanpitävä vaippa. Rakennuksen energiatehokkaan käytön edellytyksenä on yleensä järjestelmien hajauttaminen toiminnallisten tarpeiden mukaan. Asiakkaan tarpeesta ja osaamisesta riippuu, mitataanko energiatehokkuuden seuranta varten vain kokonaiskulutukset vai halutaanko varautua selvittämään, mihin energiaa kuluu (ns. alamittaukset) ja miksi sitä kuluu (edellyttää lämpötila-, virtaus ja painemittauksia sekä mahdollisesti lämpökamerakuvauksia). Mitattavat tavoitteet, todentamismenetelmät ja toleranssit on esitettävä suunnitelmissa ja huoltokirjassa (RakMK osa A4).



Kuva 18. Vaikutusmahdollisuudet energiankulutukseen ja rakennuksen elinkaarikustannuksiin rakennuksen elinkaaren eri vaiheissa (Raket-tutkimusohjelman loppuraportin kuvasta mukailtu koskemaan myös energiankulutusta).

4.2.4 Järjestelmäkohtaiset varmistukset

Vaippa

Rakennuksen ulkovaipan lämpötekniset ja toimivuusvaatimukset määritetään rakentamismääräyskokoelman osissa C3 ja C4. Ulkovaipan ja muiden rakennusosien lämmönläpäisykertoimet, ikkunapinta-alat ja muut ulkovaipan lämpötekniseen toimivuuteen vaikuttavat tekijät esitetään rakentamismääräyskokoelman asianomaisissa kohdissa.

Ulkovaipan U-arvoa (lämmönläpäisykerrointa) voidaan heikentää paikallisesti rakennusmääräyskokoelman antamien edellytysten puitteissa. Ikkunapinta-alaa voidaan lisätä, mikäli kokonaislämmöntarve verrattuna vertailutasoon ei kasva.

Rakentamismääräyskokoelman C3 kohdassa 2.3, kappaleessa 2.3.1, esitetään seuraavaa: ”Rakennuksen vaipan tulee olla niin ilmanpitävä, että rakennuksen ilmanvaihtojärjestelmä voi toimia suunnitellusti. Rakenteisiin on tarvittaessa tehtävä erillinen ilman-sulku. Erityistä huomiota tulee kiinnittää rakenteiden liitosten ja läpivientien suunnitte-

Tarveselvitys ja hanke-suunnittelu	Suunnittelu	Toteutus-suunnittelu	Rakentaminen	Toimintakokeet, säädöt ja luovutus	Käyttö ja ylläpito
------------------------------------	--------------------	----------------------	--------------	------------------------------------	--------------------

luun sekä rakennustyön huolellisuuteen.” Edelleen: ”Ilmanvaihtojärjestelmän toiminnan kannalta rakennuksen ilmanpitävyyden tulisi olla mielellään lähellä arvoa $n_{50} = 1 \text{ 1/h}$ (rakennuksen vaipan läpi virtaa yksi rakennuksen ilmatilavuus tunnissa paine-eron sisä- ja ulkoilman välillä ollessa 50 Pa).” Lisäksi: ”Ikkunan ja oven liittyminen ympäröiviin rakenteisiin tulee olla ilmanpitävä. Karmin ja puitteen tiivistämiseen käytettävien tarvikkeiden tulee olla sellaisia, että ne kestävät käytössä esiintyvät rasitukset oleellisesti vaurioitumatta.”

Rakentamismääräyskokoelman C3 kohtien 3.2.1 ja 3.2.2 mukaisia arvoja käytettäessä rakennuksen yhteenlaskettu ikkunapinta-ala saa olla enintään 15 % rakennuksen kerrosalasta. Ikkunapinta-alan osuus ei kuitenkaan saa ylittää 50:tä % rakennuksen ulkoseinien yhteenlasketusta pinta-alasta. Ikkunan pinta-ala lasketaan kehän ulkomittojen mukaan. Ikkunan ja oven lämmöneristysvaatimukset koskevat koko rakennusosaa karmi- ja puite-rakenteineen.

Rakennusosan pienen osan lämmönläpäisykerroin saa olla suurempi kuin asianomaisissa kohdissa esitetään, mikäli se on tarpeellista lujuus- tai muista erityisistä syistä. Rakennusosan poikkeaminen vaatimuksista (kylmäsilta) pieneltä osin ei saa aiheuttaa kosteuden tiivistymistä tai liian korkeaa suhteellista kosteutta rakenteen pinnassa tai rakenteessa käytettäessä rakennusta normaalisti.

Sisäilmaluokituksessa annetaan teknisiä tavoitearvoja sisäilman laadulle ja -olosuhteille. Sisäilmaluokituksessa määritetään myös rakennusten tiiviyden ohjearvot, jotka ovat voimassa, jos osapuolten välillä on sovittu ohjearvojen noudattamisesta.

Sisäilmaluokituksen tavoitetasot ilmanpitävyydelle ovat taulukon 8 mukaiset.

Taulukko 8. Ilmanpitävyyden tavoitetasot.

Suure	Yksikkö	S1	S2	S3
Ulkovaipan ilmanpitävyys (50 Pa)				
Pienrakennukset	1/h	2,0	2,0	2,0
Monikerroksiset rakennukset	1/h	1,0	1,0	2,0

Rakennuksen lämpöoloihin vaikuttavat rakennuksen ulkovaipan toiminnan lisäksi

- ilmanvaihtojärjestelmän toiminta
- lämmitysjärjestelmän toiminta

Tarveselvitys ja hanke-suunnittelu	Suunnittelu	Toteutus-suunnittelu	Rakentaminen	Toimintakokeet, säädöt ja luovutus	Käyttö ja ylläpito
------------------------------------	--------------------	----------------------	--------------	------------------------------------	--------------------

- sisäiset lämpökuormat
- sijainti ja sääolosuhteet.

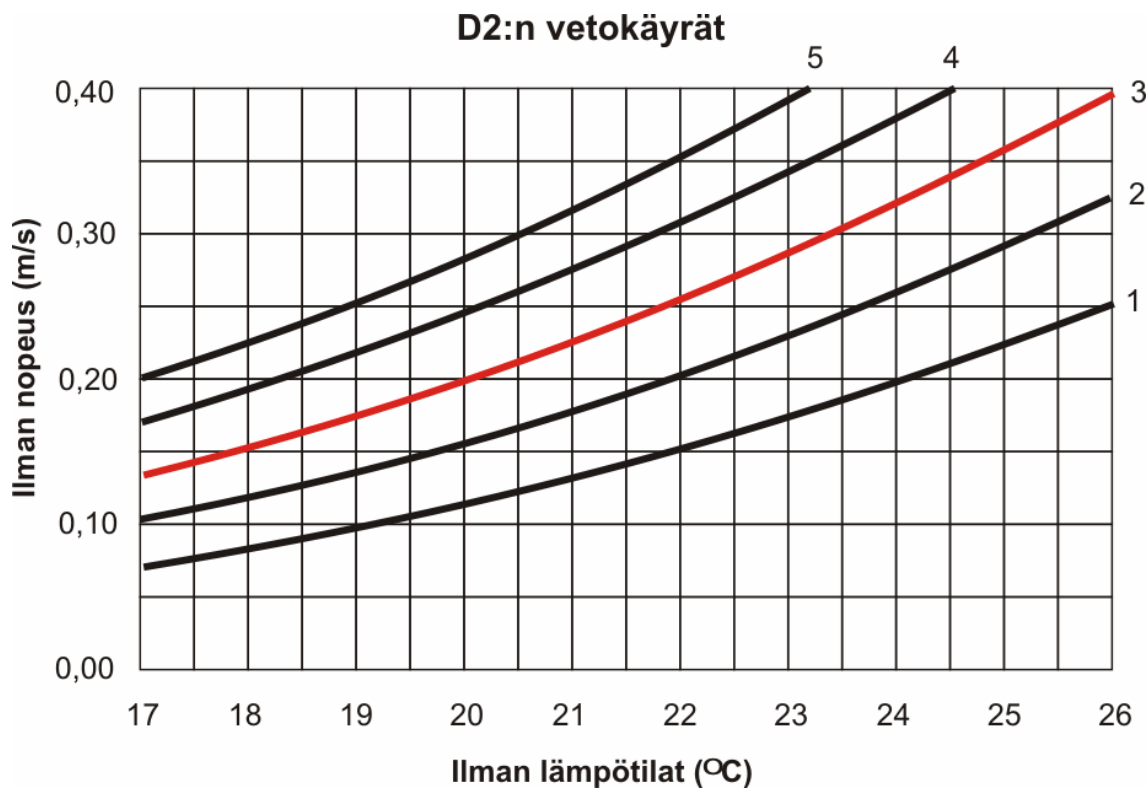
Lämpöoloihin kohdistuvat valitukset ovat useimmiten koskeneet matalia pintalämpötiloja, kylmiä pintoja ja vetoa. Matalat pintalämpötilat voivat johtua kylmäsilloista, eristeputteista tai -virheistä ja ilmapuodoista. Vedontunne johtuu kylmien pintojen ja ulkovaipan vuotokohtien aiheuttamasta ilman virtauksesta ja pintalämpötilaeroista. Mikäli rakennuksen ulkovaippa on epätiivis ja ilmanvaihtojärjestelmä epätasapainossa, tuulisella ja kylmällä säällä paine-erot aiheuttavat virtauksia rakenteiden sisällä ja rakenteiden läpi, jolloin rakenteet jäähtyvät paikallisesti. Alentunut lämpöviivtyvyys on siten useiden osatekijöiden yhteisvaikutusten summa, ja lämpöoloja joudutaan mittaamaan käytännössä useilla eri menetelmillä.

Rakentamismääräyskokoelmassa annetaan peruslähtökohdat sisäilmastoon ja energiatehokkuuteen ja olosuhteisiin vaikuttaville tekijöille. Suunnitteluvaiheessa tuleekin käydä läpi sellaiset ulkovaipan rakenteelliset tekijät, joilla on vaikutusta lämpöviivtyvyyteen ja sisäolosuhteisiin. Samalla tulee tehdä myös riittävä riskitarkastelu. Tällaisia kohtia ovat

- isot ikkunapinta-alat oleskelu- ja työtiloissa
- lasirakenteiden liittyminen toisiinsa, erityisesti ulkonurkat
- ulko-ovet ja ikkunat
- mahdolliset rakenteelliset kylmäsilat (erityyppisten ulkovaipparakenteiden liitoskohdat, välipohja- ja lattiarakenteiden sekä yläpohjarakenteiden liittyminen ulkoseiniin)
- julkisivujen sisäänvedot ja ulosvedot
- korkeat, usean kerroksen läpi ulottuvat avoimet tilat.

Suunnitteluvaiheessa tulee kiinnittää erityistä huomiota siihen, että ilmanvaihtojärjestelmä ja lämmitysjärjestelmä sekä tilan suunniteltu käyttö integroidaan yhteensopiviksi.

Rakentamismääräyskokoelman osan D2 liiteosassa esitetään vetokäyrät, joissa esitetään suurimmat sallitut ilman liikenopeudet sisäilman lämpötilaan verrattuna. Osan D2 mukaan ”rakennus on suunniteltava ja rakennettava siten, etteivät ilman liike, lämpösäteily ja pintalämpötilat aiheuta epäviivtyisyyttä oleskeluvyöhykkeellä käyttöaikana”. Kuvassa 19 esitetään vetokäyrät.



Kuva 19. Vetokäyrän tulisi olla < 2. Välttävä taso saavutetaan, kun vetokäyrä on < 3.

LVI-ohjetiedostossa LVI 05-10235 esitetään lämpöoloihin vaikuttavia tekijöitä. Tässä ohjetiedostossa esitetään kylmien pintojen vaikutusta viihtyvyyteen, annetaan laskenta-kaava kylmän ikkuna- ja seinäpinnan aiheuttaman kylmän konvektiovirtauksen enimmäisnopeudelle sekä suurimmat sallitut ikkunoiden tai seinäpintojen korkeudet ulkovaipan lämmön eristävyteen verrattuna.

Taulukossa 9 on esimerkki Oulun rakennusvalvonnan Internet-sivuilla olevista ohjeista, joissa ohjataan LVI-ohjetiedoston mukaan valitsemaan lämmönläpäisykertoimeltaan riittävän hyvät ikkunat silloin, jos suunniteltu ikkunakorkeus on normaalia suurempi.

Tarveselvitys ja hanke-suunnittelu	Suunnittelu	Toteutus-suunnittelu	Rakentaminen	Toimintakokeet, säädöt ja luovutus	Käyttö ja ylläpito
------------------------------------	-------------	----------------------	--------------	------------------------------------	--------------------

Taulukko 9. Osa Oulun rakennusvalvontaviraston ohjeesta.

RakMK:n osan 2.2.2 mukaan: HUONETILAN OLESKELUVYÖHYKKEELLÄ EI SAA ESIINTYÄ HÄIRITSEVÄÄ VETOA EIKÄ MUITA VIIHTYVYYTTÄ TAI SUORITUSKYKYÄ HUOMATTAVASTI ALENTAVIA LÄMPÖTILATEKIJÖITÄ.

Huoneen tai kerroksen korkuiset ikkunat aiheuttavat vetoa, joten niille tulee valita k-arvot punaisilta sarakkeilta.

Ote kortista LVI 05-10235

Taulukko 5: Ikkunan tai seinän suurin sallittu korkeus, kun sen lämmönläpäisykerroin ja suurin sallittu ilmankeskinopeus lattianrajassa on annettu.

ikkuna	k-arvo	Suurin sallittu korkeus (m)	Suurin sallittu korkeus (m)	Suurin sallittu korkeus (m)
	W/m^2K	$v_{max}=0,1$ m/s	$v_{max}=0,15$ m/s	$v_{max}=0,18$ m/s
2-lasinen	2,9	0,4	0,8	1,2
3-lasinen	2,0	0,5	1,2	1,7
Erikoisikkuna	1,6	0,6	1,5	2,1
Erikoisikkuna	1,2	0,8	1,8	2,6
Erikoisikkuna	0,5	1,9	4,3	6,2
			Tätä saraketta sovelletaan olohuoneissa, kun huonelämpötila on 20 astetta. (RakMK osan D2 mukaan)	Tätä saraketta sovelletaan olohuoneissa, kun huonelämpötila on 22 astetta. (RakMK osan D2 mukaan)

Mikäli on aihetta epäillä, että suunnitelluissa tiloissa voi esiintyä vetohaittoja, on syytä analysoida rakenteiden vaikutusta lämpöoloihin käyttäen esimerkiksi edellä olevia ohjetiedoston yksinkertaisia laskentamalleja tai monipuolisempia laskentaohjelmistoja.

Myös ulkovaipparakenteiden mahdollisten kylmäsiltojen vaikutus tulee varmistaa etukäteen. Ikkunarakenteita suunniteltaessa on otettava huomioon ikkunarakenteiden leveyden ja konstruktion vaikutus ilmavuotoihin ja kylmäsiltoihin: kapeapuitteiset ikkunarakenteet ovat alttiimpia asennusvirheille kuin leveäpuitteiset rakenteet.

Suomessa ei ole määräyksiä matalimmista sallituista pintalämpötiloista. Asumisterveysohjeessa esitetään asuintilojen matalimmat pintalämpötilat ulko- ja sisälämpötilan erotukseen suhteutettuna oleskeluvyöhykkeellä. Asumisterveysohjeen pintalämpötilatasoja voidaan kyllä käyttää rakenteiden toimivuuden arviointiin myös ulkoseinien ja lattian liitoskohdissa, mutta terveyshaitta katsotaan toteutuvan vain oleskeluvyöhykkeellä. (Asumisterveysohje 2003.)

Tärkein asia suunnitteluvaiheessa on, että lämpöteknisen toimivuuden lisäksi arvioidaan rakenteiden, ilmanvaihtojärjestelmän ja lämmitysjärjestelmän yhteistoiminnan vaikutus

Tarveselvitys ja hanke-suunnittelu	Suunnittelu	Toteutus-suunnittelu	Rakentaminen	Toimintakokeet, säädöt ja luovutus	Käyttö ja ylläpito
------------------------------------	--------------------	----------------------	--------------	------------------------------------	--------------------

lämpöoloihin ja viihtyvyyteen. Mikäli valittu rakenne sisältää edellä esitettyjä riskitekijöitä, on detaljien suunnitteluun panostettava nykyistä enemmän. Lämpöoloihin vaikuttavat suunnitteluratkaisut jätetään usein liian vähälle huomiolle.

LVI-järjestelmät

Suunnittelun alussa on arvioitava ja varmistettava, että omistajan vaatimukset ja rakenne- ja talotekniikan suunnitteluperusteet (tarve, käyttöikätaavoite, käyttövarmuustavoite, energialähdenvaihtoehdot) ovat yhteisesti tiedossa ja asennus-, huolto- ja ylläpitotilat ovat riittävät.

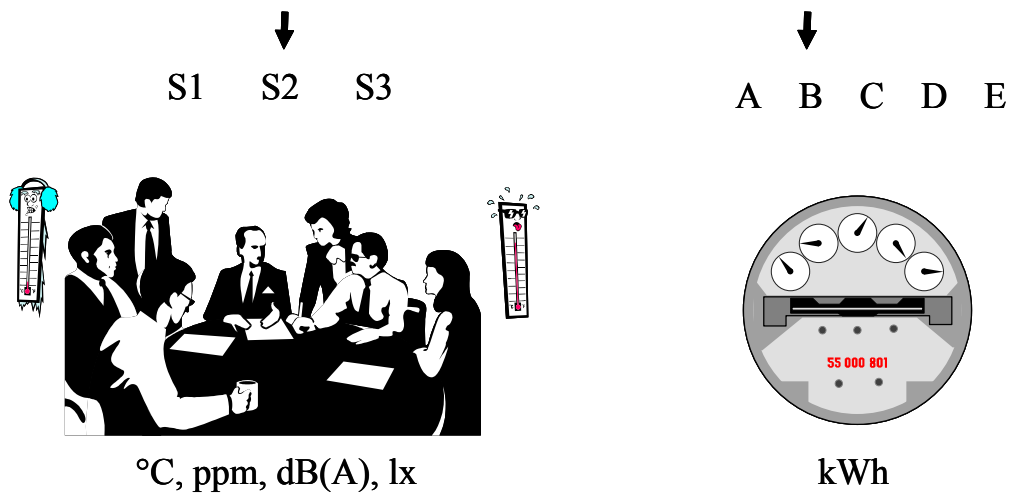
Suunnitteluvaiheessa on varmistettava (esim. liitteen A tarkistuslistan mukaan), että vastaanotto- ja käyttövaiheessa toimivuutta todentaville mittauksille on riittävät edellytykset sekä mitattavuuden että aikataulun ja ajankäytön osalta. Tilaajan on voitava todeta järjestelmien toiminta hyväksyttäväksi ja tavoitteiden mukaiseksi olosuhteiden ja energiatehokkuuden kannalta.

Sisäilmaston ja energiatehokkuuden päämittareista (Kuva 20) on selvittävä havainnollisesti sisäilmaston taso ja energiatehokkuus. Muita mittareita on oltava käytettävissä analysoinnin tarkentamiseksi tarpeen mukaan.

Mittausten laajuus ja hinta riippuvat siitä

- halutaanko mitata vain kokonaisenergiankulutus vai
- halutaanko selvittää, mihin energiaa kuluu (tarvitaan alamittaukset) ja
- halutaanko selvittää, miksi energiaa kuluu suunnitellusta poikkeavasti (tarvitaan lämpötila-, virtaus ja painemittauksia)
- tehdäänkö mahdollisesti muita tarkastuksia ja mittauksia.

Tarveselvitys ja hanke-suunnittelu	Suunnittelu	Toteutus-suunnittelu	Rakentaminen	Toimintakokeet, säädöt ja luovutus	Käyttö ja ylläpito
------------------------------------	-------------	----------------------	--------------	------------------------------------	--------------------



Kuva 20. Sisäilmaston ja energiatehokkuuden päämittarit ja esimerkkiluokat.

Jotta voidaan varmistaa energiatehokkuuden toimivuus ja helpottaa tarvittaessa myös suunnitellusta poikkeavan energiankulutuksen syyn selvittämistä, on nykyisen tavanomaisen LVI-järjestelmän mittarivarustuksen (lämpötila-anturit, ilma- ja vesivirta-anturit, paine-anturit) lisäksi suunniteltava ja asennettava testattuja ja tarkastettuja antureita ainakin seuraaville mittauksille:

- pääilmavirtojen ilman tilavuusvirrat (koska ilmanvaihdon osuus energiankulutuksesta on oleellinen)
- jäteilman lämpötila (koska tämä kuvaa parhaiten poistoilman lämmöntalteenoton tehokkuutta ja ilmanvaihdon lämpöhäviöitä).

Keskeisiä suunniteltavia asioita toimivuuden varmistamisessa ovat seuraavat:

- Mitä mitataan (sekä olosuhteiden että energiatehokkuuden varmistamiseksi)?
- Mistä mitataan?
- Missä olosuhteissa mitataan (sää, käyttötilanne)?
- Miten mitataan (kiinteät mittalaitteet, seurantamittaukset, kertamittaukset)?
- Miten mittaustulosta tulkitaan (tavoitteet, toleranssit, mittausepävarmuus)?

Suunnittelijan, joka vastaa talotekniikan tai sen osajärjestelmän kokonaistoimivuudesta, on laadittava suunnittelun aikana täydentyvä ja päivittyvä käyttöönotto- ja käyttöohjelma. Jatkuvan kehittämisen kannalta todennäköisesti tehokkainta on, jos sama henkilö on mukana käyttöönotto-ohjelman toteuttamisessa. Mitattavat tavoitteet, todentamismenetelmät ja toleranssit on esitettävä suunnitelmissa ja huoltokirjassa (RakMK osa A4, Rakennuksen käyttö- ja huolto-ohje).

Tarveselvitys ja hanke-suunnittelu	Suunnittelu	Toteutus-suunnittelu	Rakentaminen	Toimintakokeet, säädöt ja luovutus	Käyttö ja ylläpito
------------------------------------	--------------------	----------------------	--------------	------------------------------------	--------------------

Vesilaitteistojen osalta varmistetaan suunnitteluvaiheessa riittävä vedenantokyky, kestävyys, käyttövarmuus ja hygieenisuus. Samoin vaikutetaan järjestelmän energiatehokkuuteen sekä huolto- ja uusimistoimenpiteiden vaikeusasteeseen ja tarpeeseen viemärlaitteistojen osalta. Edellä esitettyjen näkökohtien lisäksi varmistetaan terveydellisten haittojen eliminointi.

Sade- ja salaojavesilaitteistojen osalta varmistetaan, ettei laitteisto aiheuta vahingon- tai tapaturmavaaraa tai tulvimista.

Varmistettavat asiat esitetään määräysten muodossa rakentamismääräyskokoelman osassa D1.

Sähkö

Sähköjärjestelmien käytön tai mitoitusasteen muunneltavuus ja joustavuus päätetään sähköverkostoa, verkostoryhmittelyä ja laitteita ja ohjausvalintoja suunniteltaessa (yksilöllisen ohjauksen säilyvyys mahdollisten tilamuutosten jälkeen, päivänvaloalueiden erillinen valaistusohjaus jne.). Kulutuksen ja kuormituksen seuranta edellyttää mittauksia sähköverkostossa tai ainakin verkstorakennetta, jossa mittauksia on jälkikäteen mahdollista tehdä helposti. Erityisesti laiteryhmäkohtainen kulutus- ja kustannusanalysointi ja tarkoituksenmukaisesta toiminnasta varmistuminen edellyttävät siihen soveltuvaa verkstorakennetta ja kiinteitä jatkuvia mittauksia. Kulutuksen seuranta ja kustannusanalysointi ovat sähköenergian osalta ongelmallisempia kuin esim. lämpöenergian, koska kulutuksen suuruus ja osin ajoittuminenkin on hyvin yksilöllistä ja se jakautuu pieniin osakuormiin. Suunnitteluvaiheessa tehdään perusratkaisut, joilla rakennuksen kulutustaso suurelta osin määritetään. Samalla päätetään mahdollisuuksista asettaa järjestelmiä kulloistenkin käyttötarpeiden mukaisesti ja seurata ja valvoa energiankäytön taloudellisuutta.

Palvelusektorin rakennukset ovat laitekannoiltaan ja käyttöprofiileiltaan hyvin epähomogeenisiä, mikä vaikeuttaa kulutusvertailujen tekemistä saman käyttötarkoituksen omaavien rakennusten välillä pelkkien ominaiskulutuslukujen (kWh/m²,a tai kWh/m³,a) perusteella. Toimitilarakennusten yksilöllisyyden takia rakennuksen sähkönkäytön referenssitehtojen pitää perustua ko. rakennuksessa tapahtuviin tarkasti kontrolloituihin mittauksiin. Tällaisen rakennuksen käyttöönottoon ja käyttöön liittyvän mittaussysteematikan toteuttaminen edellyttää suunnitteluratkaisuja, jotka mahdollistavat mittausten toteuttamisen.

Tarveselvitys ja hanke-suunnittelu	Suunnittelu	Toteutus-suunnittelu	Rakentaminen	Toimintakokeet, säädöt ja luovutus	Käyttö ja ylläpito
------------------------------------	--------------------	----------------------	--------------	------------------------------------	--------------------

Toimivuuden varmistamisen ja energiatehokkuuden arvioimisen näkökulmasta sähkösuunnittelussa voidaan vaikuttaa siihen, millä tasolla rakennuksen sähkönkäyttöä on mahdollista monitoroida. Sähkön pääjakelujärjestelmän ryhmittely suunnittelussa siten, että kuormitukset voidaan monitoroida riittävän tarkasti sähköpääkeskuksesta käsin, mahdollistaa ToVa-toiminnan myöhemmissä käyttöönnoton ja ylläpidon vaiheissa. Kulutuslaiteryhmittäin (valaistus, LVI, pistorasialaitteet, keittiö jne.) tapahtuva seuranta edellyttäisi varsinkin valaistuksen ja pistorasialaitteiden sähkön syötön osalta sähkösuunniteluun suuria muutoksia, koska niiden kulutuspisteet ovat jakaantuneet ympäri rakennusta.

Perusratkaisu, jota suunnittelussa jo nykyään toteutetaan, on se, että suurten ilmanvaihtokonekeskusten, ilmanvaihdon vedenjäähdyttimien, keittiön (keittiölaitteet, valaistus, ruuan kylmäsäilytys) ja suurten sähkölämmityskuormien jakokeskukset saavat kukin oman sähkösyöttönsä suoraan pääkeskuksesta. Loppukulutus muodostuu tällöin pääasiallisesti eri alueita palvelevista jakokeskuksista, joiden kuorma muodostuu pääasiassa valaistuksesta ja pistorasioihin liitettävistä laitteista. Peruseriaatteena on, että alueellisia jakokeskuksia syötetään kutakin erikseen sähköpääkeskuksesta (tähtimäinen jakelu). Tällä jaottelulla on mahdollista mitata erilleen LVI-laitteiden, ilmastoinnin jäähdytyksen, keittiön ja sähkölämmityksen kulutus siten, että kaikki mittauspisteet sijaitsevat sähköpääkeskuksessa. Vähentämällä edellä mainittujen kulutuksien summa kokonaiskulutuksesta saadaan tulokseksi käyttösähkön osuus, joka kuvaa jollakin tarkkuudella rakennuksen sisäisiä lämpöenergioita (valaistus, pistorasialaitteet). Edellä mainitussa käyttösähkön kulutuksessa on mukana ulkovalaistuksen kulutus, joka lämmityskaudella voi joissakin kiinteistöissä olla merkittävä. Myös muut mahdolliset rakennuksen vaipan ulkopuoliset kuormat, kuten autojen sähkölämmitys, on syytä huomioida.

Mikäli huonetiloissa on paikallisia ilmastointiyksiköitä, esimerkiksi puhallinpattereita, tai lämmitettäviä ikkunoita, toteutetaan myös niiden sähkönsyöttö alueellisten jakokeskusten kautta. Eri sähkön kulutuslaiteryhmien erittelemine jakokeskuksessa edellyttää nykyaikaisissa toimitilarakennuksissa kunkin keskuksen jakamista suunnitteluvaiheessa enimmillään viiteen eri syöttökiskoon: valaistus, kojeet tai pistorasiat, atk-laitteet tai -pistorasiat, LVI-laitteet ja UPS-verkkoon liitetyt kuormat. Koska keskikokoisessa rakennuksessa on useampi kymmenen jakokeskusta, muodostuu mittauspisteiden ja mittareiden lukumäärä suureksi, mikäli monitorointi halutaan tehdä yksityiskohtaisesti. Valaistuksen sähkönkulutuksen mittaus edellyttää jokaiseen alueelliseen jakokeskukseen omaa valaistussähkömittaria.

Tarveselvitys ja hanke-suunnittelu	Suunnittelu	Toteutus-suunnittelu	Rakentaminen	Toimintakokeet, säädöt ja luovutus	Käyttö ja ylläpito
------------------------------------	--------------------	----------------------	--------------	------------------------------------	--------------------

Alamittausten osalta ei ole olemassa mitään vakiintunutta käytäntöä. Usein sähkön alamittauksia ei toteuteta, jolloin ainoaksi informaatioksi sähkönkulutuksesta jäävät jakeluverkonhaltijan suorittamat laskutusmittaustiedot.

Yleisinä ohjeina sähkön alamittausten suunnitteluun ja toteutukseen voidaan mainita seuraavat seikat:

- Mikäli kiinteistössä on useita rakennuksia, kukin rakennus varustetaan omalla kokonaiskulutuksen mittaavalla sähkömittarillaan.
- Mikäli rakennukseen tulee vuokralaisia, mitataan erikseen kiinteistösähkö (ulkovalot, LVI, muut), keittiösähkö (ruokapalveluun liittyvät sähkölaitteet) ja asiakassähköt (sisävalaistus, pistorasiakuormitus).
- Rakennuksissa, joissa toimitilojen lisäksi on tuotantotiloja, prosessisähkö mitataan erikseen.
- Mikäli rakennukseen tulee sähkölämmitys, lämmityksen sähkönkulutus mitataan erikseen.
- Mikäli rakennuksen suunnitteluvaiheessa ei päädytä sähkön alamittauksiin, varaudutaan tuleviin tarpeisiin suunnittelemalla pääkeskuksesta lähteviin suurimpiin syöttölähtöihin virta- ja jänniteliitynnät mahdollisia kiinteitä tai tilapäisiä sähkömittauksia varten.

Asuinrakennussektorilla sähkölaitekanta on suurimpien kulutuslaitteiden osalta homogeenisempi kuin palvelusektorilla, ja jokaisella asunnolla on yleensä oma sähkön laskutusmittari, jonka mittaaman kokonaissähköenergian määrä voi olla murto-osa palvelusektorin rakennusten sähköenergiaan verrattuna. Tämä mahdollistaa ominaiskulutuslukujen perusteella tehtävän vertailun sähkönkulutuksen suuruudesta suhteessa vastaaviin muihin asuinrakennuksiin. Huonetilojen lämmitykseen liittyvä sähkönkulutus on suositeltavaa mitata erikseen. Asumissektorilla on helpompi identifioida ne kuluttajat, joiden sähkönkäyttö on keskimääräistä suurempaa, ja kohdistaa energiansäästötoimet ja mahdolliset laitteiden toimivuuden varmistustoimenpiteet näihin kuluttajiin.

Valaistus

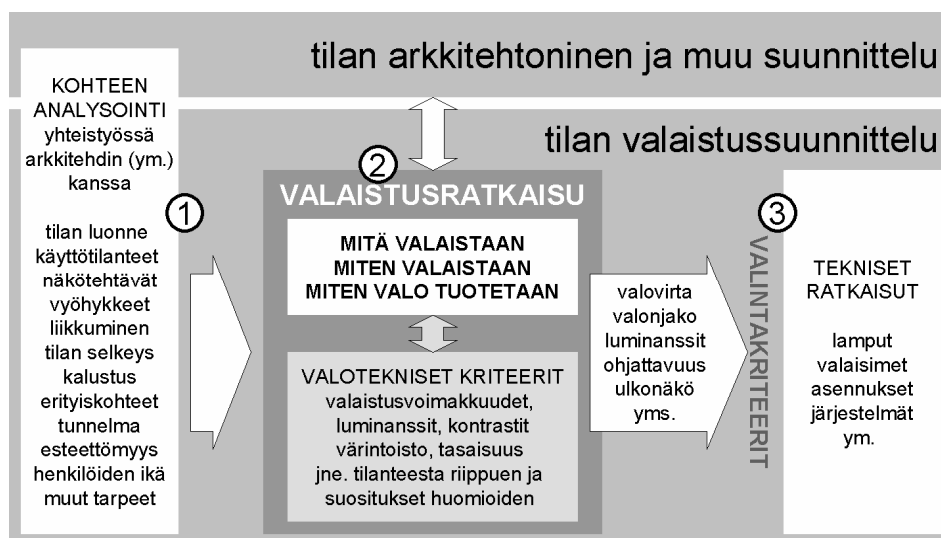
Valaistuksen toimivuuden varmistaminen kohdistuu valaistusolosuhteisiin sekä rakennuksen ja sen järjestelmien energiatehokkuuteen. Valaistusolosuhteet ymmärretään tässä ensisijaisesti niin, että valaistus on näkötehtävään sekä määrällisesti että laadullisesti sopiva ja mukava. Laajemmassa merkityksessä kysymys on myös valaistuksen esteettisestä, imagollisesta ym. soveltuvuudesta.

Tarveselvitys ja hanke-suunnittelu	Suunnittelu	Toteutus-suunnittelu	Rakentaminen	Toimintakokeet, säädöt ja luovutus	Käyttö ja ylläpito
------------------------------------	--------------------	----------------------	--------------	------------------------------------	--------------------

Valaistussuunnittelun lähtökohtana ovat¹

- näkötehtävien, orientoitumisen ja huomion kiinnittämisen asettamat vaatimukset, jotka ovat yleisenä lähtökohtana valaistussuunnittelulle ja joista voidaan johtaa alustavat numeeriset ja luokkakriteerit valon määrälle ja laadulle
- käyttäjien toivomukset ja erityistarpeet, työpisteiden järjestely, kalusteet, tilan jako toiminnallisiin vyöhykkeisiin sekä eri käyttötapojen yhteensovittamisen vaatimukset (esimerkiksi neuvottelutiloissa)
- rakennuksen ja sen järjestelmien asettamat tarpeet ja rajoitukset (alakatto tai sen puuttuminen, LVI-järjestelmien sijoitus ja kiinnitys, tilan korkeus, valonjakopintojen ja erityisesti sisäkaton materiaalit ja heijastussuhteet, ikkunoiden sijainti, valaistavien pintojen sijainti, tavoiteltavat valaistusvaikutelmat jne.)
- valaistuksen energiankäyttö ja muut tekniset näkökohdat
- tilan muuntojoustavuutta koskevat tavoitteet.

Näistä lähtökohdista (ks. kohta 1 kuvassa 21) voidaan tehdä jako yleis- ja paikallisvalaistukseen ja valita käytettävät valaistustavat (suora, epäsuora, niiden välimuodot). Valittu järjestelmä kiinnittää valotekniset yleisvaatimukset (valaistusvoimakkuudet, luminanssit, kontrastit, värinointo, valon tasaisuus ym.). Valitun ratkaisun (2) tarkempi mittaaminen tuottaa tekniset vaatimukset ja valintakriteerit (3) komponenteille eli valaisimille ja valaistuksen säätöjärjestelmille (Kuva 21).



Kuva 21. Valaistuksen suunnittelu (Talotekniikka RYL 2002).

¹ Ks. myös Talotekniikka RYL 2002, Osa 2, s. 177.

Tarveselvitys ja hanke-suunnittelu	Suunnittelu	Toteutus-suunnittelu	Rakentaminen	Toimintakokeet, säädöt ja luovutus	Käyttö ja ylläpito
------------------------------------	--------------------	----------------------	--------------	------------------------------------	--------------------

Varmistettavat asiat energiatehokkuuden kannalta

Energiatehokkuuden ja valaistuksen laadun ym. tavoitteet riippuvat toisistaan, joten niitä on tarkasteltava rinnakkain.² Erityisesti energiatehokkuutta koskevia asioita ovat

- sähkövalaistuksen asennettu teho huonepinta-alaa kohden [W/hum2]
- valaisimien käyttöhyötysuhde ja (epäsuorassa valaistuksessa) tilan valonjakopintojen heijastussuhteet³
- valonlähteiden (lamppujen) valotehokkuus (sisältyy yleensä jo edellisiin)
- energiaa säästävien säätöjärjestelmien toteutus ja toimivuus (päivänvalon hyödyntäminen, läsnäolotunnistus yms.).

Varmistettavat asiat valaistusolosuhteiden kannalta ovat

- valitun valaistusratkaisun soveltuvuus tilan käytön vaatimukseen⁴
- valittujen valaisimien ja niissä käytettyjen valonlähteiden soveltuvuuden toteaminen⁵
- päivänvalon osalta erityisesti riittävä auringonsuojaus (joko ikkunoiden sijoittelulla tai erillisillä auringonsuojilla) ja häikäisyn esto työskentelyalueilla.

Rakennusautomaatio

Rakennusautomaatiojärjestelmän avulla pyritään hallitsemaan rakennuksen energiankulutusta siten, että asetetut energiankulutustavoitteet saavutetaan. Perinteisen prosessin ohjauksen lisäksi automaatiojärjestelmä hoitaa ”ylemmän tason” toimintoja ja tietämyksenhallintaa.

Rakennusautomaatiojärjestelmän suunnittelu alkaa usein vasta, kun prosessin suunnittelu on jo edennyt perussuunnitteluun. Tästä voi olla seurauksena prosessiratkaisu, jonka automatisointi on hankalaa. Tärkeimmät päätökset tehdään jo suunnittelun alkuvaiheissa, minkä takia on tärkeää pitää painopiste käyttäjän vaatimusten määrittelyssä, järjestelmän toimintojen kuvaamisessa ja eri osapuolten, erityisesti asiakkaan ja järjestelmätoimittajan, välisessä yhteistyössä.

² Talotekniikka RYL 2002, Osa 2, taulukko s. 178–179.

³ Talotekniikka RYL 2002, Osa 2, s. 189–190.

⁴ Talotekniikka RYL 2002, osa H51 ”Valaistussuunnittelu”; Valaistustekniikan käsikirja, Osa 1.

⁵ Talotekniikka RYL 2002, Osa 2, s. 193, kohta H5416.

Tarveselvitys ja hanke-suunnittelu	Suunnittelu	Toteutus-suunnittelu	Rakentaminen	Toimintakokeet, säädöt ja luovutus	Käyttö ja ylläpito
------------------------------------	--------------------	----------------------	--------------	------------------------------------	--------------------

Kun suunnittelun lähtökohtana ovat toimivuusvaatimukset ja kiinteistön käyttö, voidaan järjestelmäratkaisu optimoida jo järjestelmäkaavion suunnittelussa. Suunnittelun tavoitteena onkin selvittää automatisointitarpeet, tarjonta, kustannukset ja hyödyt sekä koota aineisto, jonka perusteella investoinnin toteutuspäätös voidaan tehdä.

Suurissa rakennushankkeissa laajat ohjelmistosovellukset ja uusimman tekniikan käyttäminen asettavat haasteita rakennusautomaatiojärjestelmän toimittajalle. Toimittajan on pystyttävä keskustelemaan eri sidosryhmien edustajien kanssa ja toimimaan eri alojen yhdistäjänä. Yleinen projektitoiminnan ongelma on osapuolien tiedonvaihto ja eri suunnittelualojen välinen yhteistyö. Lisäksi on tunnettava käytön, huollon, ylläpidon ja tietohallinnon asioita.

Ennen pääsuunnittelun aloittamista on varmistettava asiakasvaatimusten toteutuminen yhdessä asiakkaan kanssa ToVa-katselmuksessa. Hankkeen alussa tarveselvitys ja hankesuunnitteluvaiheessa tehdyt selvitykset tilaajan tavoitteista ovat tärkeässä roolissa automaatiojärjestelmän suunnittelussa ja toimivat pääsuunnitteluvaiheen esitietoina. Asiakkaan kanssa selvitetään seuraavia asioita:

- tilaajan tavoitemäärittely, tarveselvitys ja hankesuunnitteluvaiheessa tehty selvitys
- käyttäjien tarpeet
- keskeiset lähtötiedot ja laatumääritykset rakennuttajalta, käyttäjältä, LVI- ja sähkösuunnittelijalta (J7111)
- järjestelmän vaatimukset, haluttu laajuus ja halutut toimenpiteet (ST 710.10)
- järjestelmävaihtoehdot kannattavuuslaskelmineen (KH 10-00116, KH 17-00214)
- mahdollisimman tarkkaan järjestelmän haluttu toiminta ja halutut olosuhteet eri tilanteissa (J7111)
- automatisoinnin hyödyt (KH 10-00116, ST 710.10)
- automatisoitavat toiminnot ja niiden automaatioaste valintaperustein (KH 10-00116)
- järjestelmän elinkaarivaatimukset, toteutusteknologian valinta
- eri laitevalmistajien yhteensopivuusvaatimukset ja järjestelmän laajennettavuus
- tarvittava organisaatio ja selvitys koulutustarpeesta
- kustannukset, säästöt, arvostukset, toimintokohtainen kannattavuus ja koko investointipäätöksen kannattavuus laskelmin
- aikataulu.

Vaatimukset kootaan käyttäjävaatimukset-dokumentiksi, jonka perusteella voidaan laatia rakennusautomaation työselitys. Työselityksestä on löydettävä yleiset toiminnalliset ja laadulliset vaatimukset siinä muodossa, että sitä voidaan tarvittaessa käyttää myös urakoitsijoiden kilpailuttamiseen (ST 711.03). Erityisen tärkeää on, että koko hankinta

Tarveselvitys ja hanke-suunnittelu	Suunnittelu	Toteutus-suunnittelu	Rakentaminen	Toimintakokeet, säädöt ja luovutus	Käyttö ja ylläpito
------------------------------------	--------------------	----------------------	--------------	------------------------------------	--------------------

kilpailutetaan yhdellä kertaa. Tällöin lopputulokseksi saadaan yhtenäinen kattava rakennusautomaatiojärjestelmä, jonka avulla kiinteistönhoidon keskittäminen helpottuu ja energiatalouden tehostumisedut saadaan toteutettua.

Suunnittelun lopussa hyväksytään kaikki järjestelmälle asetetut tavoitteet yhdessä asiakkaan kanssa ToVa-katselmuksessa. Katselmuksessa varmistetaan ainakin seuraavat asiat:

- Hyväksytään käyttäjävaatimukset-dokumentin sisältö.
- Tarjouspyyntöjen vertailussa tarkistetaan, että laitetoimittajan tarjous on kaikilta osin tarjouspyynnön mukainen eikä tarjouspyyntöön ole liitetty rakennuttajan kannalta epäedullisia ehtoja.
- Sopimusluonnoksista tarkistetaan, että lisätöistä sovitaan joko yksikköhintamenetellyllä tai käyttämällä järjestelmäkohtaista hinnoittelua.
- Hyväksytään sopimusluonnokset.

Ennen toteutussuunnittelun aloittamista on tarkistettava, että rakennusautomaatiojärjestelmän toimittajan tarjous on kaikilta osin tarjouspyynnön mukainen. Suunnittelu päättyy yleensä asiakkaan tekemään investointipäätökseen. Laitteiston ja ohjelmiston rakenteen määrittely voidaan aloittaa vasta, kun järjestelmän toimittaja on valittu.

Suunnittelun yhtenä osatavoitteena on kehittää toimintamalli, jossa käyttäjäorganisaatio pystyy mahdollisimman tehokkaasti hyödyntämään rakennusautomaatiojärjestelmää. Näkökulman merkitys korostuu toteutussuunnitteluvaiheessa. Rakennusautomaatiojärjestelmän suunnitteluun liittyviä ohjeistuksia löytyy KH- ja ST-kortistoista sekä Talotekniikka RYL:stä (KH 17-00214, KH 10-00116, ST 701.40, ST 710.01, ST 710.10, ST 711.03, J7111).

Tarveselvitys ja hanke-suunnittelu	Suunnittelu	Toteutus-suunnittelu	Rakentaminen	Toimintakokeet, säädöt ja luovutus	Käyttö ja ylläpito
------------------------------------	-------------	-----------------------------	--------------	------------------------------------	--------------------

4.3 Toteutussuunnittelu



4.3.1 Järjestelmien tavoitteiden hyväksyntä

- Tarkista, että edellisessä ToVa-suunnitelmassa esitetyt tehtävät on suoritettu.
- Hyväksytä numeeriset sisäilmasto- ja energiatehokkuustavoitteet.
- Hyväksytä järjestelmäkohtaiset tavoitteet kaikkien osapuolien kesken.
- Varmista talotekniikan suunnittelun etenemisedellytykset.
- Tarkenna rakennussuunnittelun toimivuuden varmistustehtävät.

Keskeisimmät päätettävät asiat:

- valittavat järjestelmät tai se, mitkä valinnat jäävät suunnittelijoille tai urakoitsijoille
- järjestelmien suunnittelun ja rakentamisen kustannustavoitteet
- järjestelmien toiminnalliset vaatimukset, esim.
 - hyötysuhde
 - ominaisenergiankulutus
 - huollettavuus, huoltovapaus, huoltokustannukset, tavoitteellinen kestoikä
 - keiden valmistajien tuotteita käytetään
 - suunnittelun virhemarginaalit
 - järjestelmien mittauspisteet
 - järjestelmien tavoiteltu muuntojoustavuus.

Toteutussuunnittelussa järjestelmäkohtaiset tavoitteet muokataan työmaan tarvitsemaan muotoon. Esitystapana voi olla 3D-tuotemalli tai perinteiset 2D-piirustukset. Käytännössä tuotemallista tulostetaan paperitulostuksia rakentajien ja asentajien tarpeisiin. Mikäli tavoitteiden asettaminen ja luonnossuunnittelu on onnistunut hyvin, tämä vaihe

Tarveselvitys ja hanke-suunnittelu	Suunnittelu	Toteutus-suunnittelu	Rakentaminen	Toimintakokeet, säädöt ja luovutus	Käyttö ja ylläpito
------------------------------------	-------------	-----------------------------	--------------	------------------------------------	--------------------

on yleensä varsin ongelmaton. Jos hankkeen myöhemmissä vaiheissa on tehtävä suunnitelmamuutoksia, asiakkaan tarpeen tarkentumisen tai muutoksen takia, voidaan suunnittelun ja rakentamisen aikana joutua ”muutostyökierteeseen”.

Muutosten hallinnassa oleellisia ovat

- muutostarpeen määrittäminen
- muutoksen arviointi alkuperäisiin tavoitteisiin nähden ja tarvittaessa alkuperäisten tavoitteiden päivitys
- kaupallisten asioiden (tarjoukset ja sopimukset) tarkistus
- muutosten tavoitteiden ja sisällön hyväksyntä
- muutosten yksityiskohtainen suunnittelu, toteuttaminen ja dokumentointi.

Muutosten vaikutusten arviointi on niin keskeinen kysymys, että on suositeltavaa kiertää kaikki pienetkin muutokset koko suunnitteluryhmän kautta. Jokaisen muutoksen osalta tulisi aina arvioida, mihin muihin asioihin sillä on vaikutusta. Tällainen arviointi tulee tehdä jo ennen muutossuunnittelun käynnistämistä.

Toteutussuunnittelun loppupuolella on syytä järjestää katselmus tai katselmuksia, joissa käydään yhdessä läpi suunnittelun tilanne ja varmistetaan hallitun rakentamisen edellytykset. Suunnitelmien tarkistus ja hyväksyntä kaikkien osapuolien toimesta on ensiarvoisen tärkeää. Tilaajan edustajan on tarkistettava suunnitteluratkaisut ja hyväksyttävä ne. Urakoitsijoiden on tarkistettava suunnitelmien riittävyys hankintatoimen ja rakentamisen tarpeisiin.

Rakentamisen edellytysten varmistaminen voidaan tarkistaa joko rakentamisen aloituskokouksessa tai erillisessä työmaan valmisteluun liittyvässä laadun ja toimivuuden varmistuskatselmuksessa.

Suurissa hankkeissa on tyypillistä, että detaljisuunnittelu jatkuu limittäin työmaavaiheen kanssa. Tämä ei sinänsä muuta toimivuuden varmistusperiaatteita. Toimivuuden varmistamiseen liittyviä tehtäviä on silloin hoidettava suunnittelussa ja rakentamisessa rinnakkain. Tämä johtaa siihen, että rakentamisen edellytysten varmistaminen on jatkuva prosessi, jossa ToVa-tiimi voi olla rakentajien tukena.

Tarveselvitys ja hanke-suunnittelu	Suunnittelu	Toteutus-suunnittelu	Rakentaminen	Toimintakokeet, säädöt ja luovutus	Käyttö ja ylläpito
------------------------------------	-------------	-----------------------------	--------------	------------------------------------	--------------------

4.3.2 Sisäilmaston toimivuuden varmistaminen

Toteutussuunnitteluvaiheessa varmistetaan sisäilmaston mittausedellytykset. Tarkistetaan esimerkiksi, että ilmapirtojen mittausanturit ovat oikeilla paikoilla ja että lämpötila- ja muut tarvittavat seurantamittausanturit on suunniteltu riittävän moneen paikkaan.

4.3.3 Energiatehokkuuden varmistaminen

Lämpöhäviöt

Lämpöhäviöt koostuvat vaipan ja ilmanvaihdon lämpöhäviöistä. Vaipan lämpöhäviöihin vaikuttavat mm.

- eristystaso
- kylmäsillat
- ikkunoiden määrä, U-arvot ja tiiviys
- vaipan tiiveys.

Vaipan tiiviyn energiataloudellinen merkitys korostuu talvella, jolloin ulko- ja sisälämpötilaerojen seurauksena on ylipaine seinän alaosassa ulkopuolella ja yläosassa sisäpuolella. Epätiivis vaippa voi usein vuotaa ilmaa silloin samanaikaisesti sisään ja ulos.

Ilmanvaihdon lämpöhäviöihin vaikuttavat mm.

- ilmanvaihtomäärät ja käyntiajat
- lämmön talteenoton toiminta ja tehokkuus.

Lämpöhäviöihin vaikuttavat lisäksi sisäiset energiat ja ikkunoiden määrä ja suuntaus. Ikkunoiden lämpöhäviöihin ja sisälle tulevaan auringon säteilyyn vaikuttavat laseissa käytettävät

- matalaemissiviteettipinnoitteet
- auringonsuojapinnoitteet
- ikkunan kehän U-arvo.

Lämpöhäviöiden laskennassa tulee ottaa huomioon lukuisia parametreja, joista kaikkia ei voida saada aina riittävän tarkasti suoraan suunnittelutiedoista, kuten

Tarveselvitys ja hanke-suunnittelu	Suunnittelu	Toteutus-suunnittelu	Rakentaminen	Toimintakokeet, säädöt ja luovutus	Käyttö ja ylläpito
------------------------------------	-------------	-----------------------------	--------------	------------------------------------	--------------------

- käyttöaste ja -profiili
- sisäiset energiat
- ilmanvaihtomäärät.

Nämä olisikin helpointa määrittää tai varmentaa mittauksilla myöhemmin, jos se vain on mahdollista rakennuksen mittaroinnin kannalta. Sisäiset energiat voidaan kuitenkin määrittää suhteellisen tarkasti, jos tiedetään rakennukseen tulevat laitteet ja tilojen käyttöajat. Liitteessä I on esimerkkejä eräistä energiatehokkuustavoitteen saavuttamiseen vaikuttavista tekijöistä.

4.3.4 Järjestelmäkohtaiset varmistukset

LVI-järjestelmät

Taloteknisten järjestelmien riittävä kapasiteetti varmistetaan tässä vaiheessa. Tämä koskee ennen kaikkea ilmanvaihto-, lämmitys- ja taloautomaatiojärjestelmiä.

Ilmanvaihtosuunnitelmassa on esitettävä sisäilmaston ja energiankulutuksen tavoitearvot, ilmanvaihtojärjestelmän suunniteltu käyttöikä sekä ilmanvaihtojärjestelmän mitoituksen, rakentamisen ja käytön kannalta olennaiset tiedot.

Ilmanvaihtosuunnitelma sisältää vähintään

- työselostuksen
- toiminta- ja säätökaaviot
- taso- ja leikkauspiirustukset
- laiteluettelon
- käyttö- ja huolto-ohjeet.

Työselostuksessa esitetään

- järjestelmän yleiskuvaus
- sisäilmastovaatimukset
- huone- ja ulkoilman mitoituslämpötilat eri vuodenaikoina
- huonetilojen vetokriteerit
- sallittu äänenpainetaso huonetiloissa

Tarveselvitys ja hanke-suunnittelu	Suunnittelu	Toteutus-suunnittelu	Rakentaminen	Toimintakokeet, säädöt ja luovutus	Käyttö ja ylläpito
------------------------------------	-------------	-----------------------------	--------------	------------------------------------	--------------------

- laitteiden, tarvikkeiden, materiaalien ja työtapojen laatuvaatimukset: kanavistojen ja laitteiden tiiviys ja lujuus sekä pintakäsittely, puhtaus ja puhdistettavuus
- selvitys prosessiin tai työmenetelmiin liittyvistä haitallisista aineista, poistojärjestelmistä ja pitoisuuksien tavoitearvoista
- paikallispoistojärjestelyt ja -laitteet
- määrittely luovutusasiakirjoista ilmanvaihdon osalta
- ilmanvaihtojärjestelmän luovutus- ja vastaanottomenettelyn kuvaus.

Toiminta- ja säätökaavioihin sisältyvät

- ilmanvaihtojärjestelmän toimintakaavio ja -selostus
- eri ilmanvaihtojärjestelmien vaikutusalueet rakennuksessa
- järjestelmän ja laitteiden toiminta eri vuodenaikoina kuormituksen vaihdellessa
- lämmitys-, jäähdytys- ja lämmöntalteenottoverkostojen järjestelmäkaaviot
- ulko- ja jäteilmavirrat ilmanvaihtokonekohtaisesti ja rakennuskohtaisesti
- ilmanvaihtojärjestelmän arvioitu energiankulutus.

Taso- ja leikkauspiirustuksiin merkitään

- huonekohtaiset tulo- ja poistoilmavirrat
- kanava- ja päätelaitekoot ilmavirtoineen
- kanaviston suunnitellut painetasot
- kanavien lämmön- ja kosteudeneristys
- kanavistoon ja ympäristöön ilmanvaihtokoneelta/puhaltimelta suuntautuvan äänen sallittu äänitehotaso
- mittauspisteiden ja -laitteiden sijainti
- puhdistusluukkujen sijainti
- palotekniset asiat RakMK E7:n mukaan
- tarkepiirustukset rakenteiden läpivienneistä.

Laiteluetteloon sisältyvät

- laitteiden lämmitys-, jäähdytys- ja kostutustehot
- ilman ja lämmitys- tai jäähdytysaineen lämpötila tai paineet ja nestevirrat
- ilmanvaihtojärjestelmän ja ilmanvaihtokoneiden/puhaltimien ominaissähköteho
- ilmansuodattimien suodatinluokka, maksimiloppupainehäviö ja minimierotusaste
- ulkoilmasäleikköjen minimivedenerotusaste
- painehäviöt ja ilmanvaihtokoneiden osien sallittu maksimipainehäviö

Tarveselvitys ja hanke-suunnittelu	Suunnittelu	Toteutus-suunnittelu	Rakentaminen	Toimintakokeet, säädöt ja luovutus	Käyttö ja ylläpito
------------------------------------	-------------	-----------------------------	--------------	------------------------------------	--------------------

- äänenvaimentimien äänenvaimennusarvot suunnitelman mukaisilla ilmanvaihtokoneilla/puhaltimilla.

Luetteloja sovelletaan tapauskohtaisesti siten, että ilmanvaihtojärjestelmä tulee määritellyksi yksiselitteisesti.

Ilmanvaihtoa koskevissa asiakirjoissa on kuvattava järjestelmän vastaanottomenettely.

Ilmanvaihtojärjestelmän vastaanottomenettelyn kuvaukseen sisältyvät

- vastaanottomenettelyn yleiskuvaus
- laitteiden ja materiaalien ennakkohyväksyntämenettely
- laite- ja asennustapatarkastukset
- viranomaistarkastukset
- urakoitsijoiden toimintatarkastukset
- toimintatarkastus- ja toimintakoevalmius eri urakoiden osalta
- toimintakokeet
- säädöt, mittaukset ja viritystoimenpiteet
- ilmanvaihtolaitteiden kuormituskokeet
- käyttöhenkilökunnan koulutus
- järjestelmien yhteiskoekäyttö
- luovutusdokumenttien tarkastus ja luovutus
- tarkistusmittaukset
- vastaanoton aikataulun tekeminen.

Tarkistusmittausten osalta määritellään ne käyttöolosuhteet, joissa mitoitus- ja säätöarvojen mittaukset suoritetaan, mittauspaikat, -tavat ja -välineet sekä mittausten laajuus ja kesto aika.

Vesilaitteistojen toimivuuden varmistamiseksi tarkastetaan, että suunnitelma täyttää rakentamismääräyskokoelman osan D1 vaatimukset ja että mahdollisten erikoisvesipisteiden mitoitus on vaatimusten mukainen. Suunnitelmasta varmistetaan määräysten edellyttämien laitteiden ja venttiilien olemassaolon lisäksi mahdolliset huolto- ja kunnossapitotoimenpiteiden edellyttämät sulkuventtiilit (järjestelmän häiriötön toiminta). Lisäksi varmistetaan järjestelmän akustisten vaatimusten huomioon ottaminen. Mahdolliseen rakennusautomaatiikkaan liittyvien anturien ja laitteiden sijainnit varmistetaan sekä KKV- että LKV-piireistä (KKV- ja LKV-kulutusmittaus, LKV-energiamittaus). Vesilaitteistojen osalta on huomattava rakentamismääräyskokoelman osan C2 määräys,

Tarveselvitys ja hanke-suunnittelu	Suunnittelu	Toteutus-suunnittelu	Rakentaminen	Toimintakokeet, säädöt ja luovutus	Käyttö ja ylläpito
------------------------------------	-------------	-----------------------------	--------------	------------------------------------	--------------------

jonka mukaan em. laitteistot, ilmanvaihto-, lämmitys- ja jäähdytyslaitteet on suunniteltava, rakennettava ja varustettava siten, että mahdollinen vesivuoto voidaan havaita nopeasti.

Viemärilaitteistojen osalta varmistetaan määräystenmukaisuus mm. mitoituksen, sijoituksen, padotuskorkeuden, vesilukkojen, tuuletuksen, puhdistusyhteyden yms. osalta. Lisäksi varmistetaan akustisten vaatimusten toteutuminen. Jäte- ja sadeveden erottimien tarpeellisuus ja asianmukaisuus varmistetaan.

Sadevesi- ja salaajajärjestelmien määräysten- ja vaatimustenmukaisuus varmistetaan mm. huolto- ja korjausnäkökohdat huomioiden. Järjestelmän tulee olla puhdistettavissa.

Rakennusautomaatio

Rakennusautomaatioasennusten osalta tarkastelu rajataan koskemaan niitä töitä, joilla järjestelmän eri osat asennetaan paikoilleen ja kytketään järjestelmäkokonaisuudeksi. Ennen tämän vaiheen aloittamista on tarkistettava, että järjestelmäratkaisujen kelpoisuuden varmistuksen ToVa-tehtävät on suoritettu ja hyväksytty tarkistuslistojen mukaisesti.

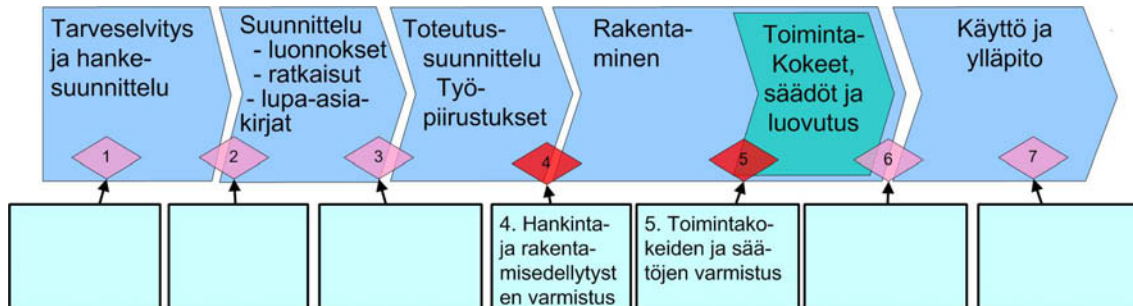
Ennen rakentamisen aloittamista varmistetaan ja hyväksytään suunnitelmien toteutuminen ja rakentamisessa tarvittavien teknisten asiakirjojen oikeellisuus yhdessä asiakkaan kanssa ToVa-katselmuksessa. Tarvittaessa asiakirjoja päivitetään tai muutetaan. Asiakkaan kanssa selvitetään ainakin seuraavat asiat:

- Suunnitelmat työselityksessä ovat asetettujen laatuvaatimusten mukaiset kaikilta osin.
- Suunnitelmat ovat urakkarajaliitteen ohjeiden ja määräyksien mukaiset kaikilta osin.
- Suunnitelmat ovat työselityksessä automaatiojärjestelmälle asetettujen teknisten tavoitteiden mukaiset kaikilta osin.
- Automaatiojärjestelmälle on tehty käyttö- ja huolto-ohjeiden suunnitelma.
- Käyttö- ja asennusohjeet ovat suomenkieliset, koskien myös eri laitevalmistajien asennus- ja kytkentäohjeita.
- Automaatiojärjestelmän käytönopastuksesta on laadittu kirjallinen koulutusohjelma, joka jakautuu teoreettiseen koulutukseen ja käytännön koulutukseen.
- Koulutusmateriaali on laadittu suomen kielellä.

Koulutusohjelman tulisi olla suunniteltu jo ennen rakentamisen aloittamista, jotta koulutus voidaan joustavasti toteuttaa hankitulla järjestelmällä. Käyttäjillä on oltava heti luovutuksen jälkeen riittävän hyvä ammattitaito järjestelmän itsenäiseen ja optimaaliseen käyttöön sekä edellytykset päivittäisistä huoltotoimista suoriutumiseen.

Tarveselvitys ja hanke-suunnittelu	Suunnittelu	Toteutus-suunnittelu	Rakentaminen	Toimintakokeet, säädöt ja luovutus	Käyttö ja ylläpito
------------------------------------	-------------	----------------------	---------------------	------------------------------------	--------------------

4.4 Rakentaminen



4.4.1 Rakentamisvaiheen ToVa

Rakentamisen edellytysten varmistaminen

Työmaaprosessin osalta toimivuuden varmistamisen ensimmäiset keskeiset tehtävät liittyvät urakkatarjouspyyntöjen asiakirjoihin. ToVa-tavoitteet ja -velvoitteet on esitettävä selkeästi tarjouskyselyissä ja sopimusasiakirjoissa. Valmistuksessa ja työmaalla tarvittavien suunnitelmien laadinta jatkuu osin rinnan hankinta- ja työmaaprosessin kanssa. Suunnittelijoiden on tarkennettava järjestelmien ja laitteiden toimivuusvaatimuksia. Rakennussuunnitelmissa ei voida pääsääntöisesti esittää valmiita tuotevalintoja, koska se rajoittaa tai jopa estää käytännössä toimittajien kilpailuttamista.

Perinteisessä ajattelumallissa rakentaminen on suunnitelmien toteuttamista ja urakoitsijoiden tehtävä on selkeä: hankitaan ja asennetaan suunnitelmissa esitetyt järjestelmät hyvää rakennustapaa noudattaen. Emme ole käytännössä enää kuitenkaan näin yksinkertaisessa prosessissa. Rakennusten järjestelmien kehityksen ja monimutkaistumisen myötä laite- ja järjestelmätoimittajilla on useinkin tuotteisiin ja toimituksiin liittyvää erikoistietoa, jota tarvitaan suunnitteluprosessissa ja työmaalla. Vasta kun esim. rakennusautomaation toimittaja on valittu, päästään toteuttamaan eri järjestelmien lopullista integraatio-suunnittelua käytännössä.

Seuraavassa luettelossa esitetään pääpiirteissään eri osapuolien vastuita ja tehtäviä työmaavaiheen osalta. ToVa-toiminnan vetäjä laatii suunnitelman työmaavaiheeseen ja organisoii tarvittavan määrän kokouksia asiasta. Osa ToVa-asioista voidaan hoitaa normaalien suunnittelu- ja työmaakokouksien yhteydessä.

Tarveselvitys ja hanke-suunnittelu	Suunnittelu	Toteutus-suunnittelu	Rakentaminen	Toimintakokeet, säädöt ja luovutus	Käyttö ja ylläpito
------------------------------------	-------------	----------------------	---------------------	------------------------------------	--------------------

Osapuolien tehtävät ja vastuut toimivuuden varmistamisessa työmaavaiheen osalta

Seuraavassa tehtävien ja vastuiden luettelossa on hyödynnetty soveltaen lähdettä Ashrae Guideline 0P (2004).

Hankkeen tilaaja

- valitsee kiinteistön isännöinti- ja hoito-organisaation ja velvoittaa sen osallistumaan projektin kokouksiin, koulutuksiin ja tarkastuksiin:
 - työmaakokoukset
 - kiinteistöjen laitteistojen perehdyttämiset
 - kiinteistönhoidon tavoite- ja tarkastustilaisuudet
 - järjestelmien toimintakokeet ja testausmenettelyt
 - tilaajan järjestämät koulutukset
 - järjestelmien toimivuuden todentaminen
 - loppukatselmukset ja hyväksynyt
- antaa palautetta toimivuuden varmistuksen tilanneraportteihin
- antaa palautetta toimivuuden todentamisraportteihin ja loppuraporttiin.

Rakennuttajapäällikkö (tilaajan edustaja)

- sisällyttää kaikki ToVa-vaatimukset ja -tehtävät eri hankintasopimuksiin
- osallistuu ToVa-prosessiin riittävällä panostuksella
- korjauttaa puutteet, jotka ToVa-tiimi on havainnut asennusten tai testausten aikana
- tarkistaa ja kommentoi ToVa-loppuraporttia
- tarkistuttaa luovutusasiakirjat suunnittelijoille loppuhyväksyntää varten
- vahvistaa hyväksynnällään, että kiinteistö on valmis ja käyttökunnossa luovutusvaiheessa.

Toimivuuden varmistustiimin vetäjä

- johtaa ToVa-prosessia työmaavaiheessa
- valmistelee ToVa-tavoitteiden ja -velvoitteiden sisällyttämistä urakkasopimusasiakirjoihin
- laatii ToVa-suunnitelman työmaavaiheen osalle ja tahdistaa ToVa-toimet hankkeen aikatauluihin yhdessä työmaajohdon kanssa
- osallistuu hankintakokouksiin, joissa täsmennetään urakoitsijoiden ToVa-velvoitteet
- tarkistaa urakoitsijoiden laatimat perehdyttämistilaisuuksien suunnitelmat

Tarveselvitys ja hanke-suunnittelu	Suunnittelu	Toteutus-suunnittelu	Rakentaminen	Toimintakokeet, säädöt ja luovutus	Käyttö ja ylläpito
------------------------------------	-------------	----------------------	---------------------	------------------------------------	--------------------

- tarkistaa urakoitsijoiden laatimat käyttö- ja huolto-ohjeet ja organisoii rakennuksen käyttö- ja huoltokirjojen kokoamisen
- vahvistaa järjestelmän ja laitekokeet, todentaa tulokset ja liittää niihin yhteenvedon puutteista
- valvoo toimintakokeiden suoritusta ja liittää tulokset osaksi ToVa-raporttia
- tarkistaa osan piirustuksista ja muista suunnitelmista, että ne on korjattu asennusten mukaisiksi ja niihin on päivitetty mahdolliset muutokset
- varmistaa eri vuodenaikoina tehtävien toimintakokeiden suorittamisen ja liittää niiden tulokset osaksi ToVa-raporttia
- varmistaa, että kaikki tarvittava dokumentaatio toimitetaan tilaajalle käyttö- ja huolto-ohjeiden ja suunnitelmien osalta
- tarkistaa, että kaikki ToVa-tehtävät on suoritettu
- laatii ToVa-loppuraportin
- ehdottaa tilaajalle järjestelmien ja asennusten hyväksymistä.

Suunnittelija

- laatii urakkasopimusasiakirjat, joihin sisältyvät osallistumisveloitteet ToVa-prosessiin
- laatii urakka-asiakirjat siten, että niissä on huomioitu eri järjestelmien ja asennusten keskinäinen integraatio
- esittää kiinteistön käyttö- ja hoitohenkilöstön koulutustilaisuuksissa projektin suunnittelutavoitteet
- tarkistaa urakoitsijoiden esittämät testausmenettelyt
- tarkistaa ja kommentoi ToVa-tiimin tilanneraportit ja tapahtumapäiväkirja
- tarkistaa ja kommentoi ToVa-loppuraportin
- ehdottaa järjestelmien loppuhyväksyntää tilaajalle.

Pääurakoitsija

- sisällyttää ToVan kustannukset urakkatarjoukseen
- sisällyttää ToVa-vaatimukset ja -tehtävät jokaiseen hankinta- ja aliurakkasopimukseen
- saa urakoitsijat ja toimittajat osallistumaan prosessiin tarvittavin osin
- osallistuu ToVa-kokouksiin
- liittää ToVa-välitavoitteet projekti-aiakatauluun
- toteuttaa urakka-asiakirjojen mukaisen koulutusohjelman
- osallistuu ToVa-prosessiin tilaajan, suunnittelijoiden ja ToVa-tiimin kanssa
- ilmoittaa ToVa-vetäjälle järjestelmien ja asennuksien testausvalmiudesta
- osoittaa järjestelmien ja laitteiden toimivuuden ToVa-vetäjälle

Tarveselvitys ja hanke-suunnittelu	Suunnittelu	Toteutus-suunnittelu	Rakentaminen	Toimintakokeet, säädöt ja luovutus	Käyttö ja ylläpito
------------------------------------	-------------	----------------------	---------------------	------------------------------------	--------------------

- korjaa tarkistuslistojen puutteet ja luovuttaa tarkistuslistat ToVa-tiimin vetäjälle
- huolehtii rakennussuunnitelmien päivittämisestä asennusten mukaisiksi yhteistyössä suunnittelijoiden kanssa.

Valmistajat

- toimittavat kaikki laitteiden ja järjestelmien käytössä ja huollossa tarvittavat tiedot
- toimittavat takuisiin liittyvät vaatimukset
- koordinoivat ja toteuttavat valmistajan sopimukseen kirjatut kokeet
- osallistuvat sovittujen koulutusten järjestämiseen
- näyttävät järjestelmien ja asennusten toimivuuden sopimusten mukaisesti. (Ashrae guideline 0P 2004.)

Rakentamisen aikaisia keskeisiä toimivuuden varmistustehtäviä ovat ratkaisujen ja hankintojen hyväksyttäminen sekä toteutuksen dokumentointi. Urakoitsijoiden ja toimittajien esittämien ratkaisujen vaatimuksenmukaisuus tulee hyväksyttäväksi suunnittelijoilla ja tilaajan edustajalla sekä siirtää aikanaan tilaajan tietoon (esim. laitehyväksyntäluettelot). Toteumatiedon tallettamisen vastuunjako on tehtävä hyvin selväksi.

Sisäilmaston ja energiatehokkuuden osalta ”kerralla kuntoon” -periaate vaatii oikeaa informaatiota, kunnollisia asennusohjeita ja osaavia asentajia. Suomenkieliset selkeät käyttö- ja asennusohjeet, jotka on tarkennettu hankekohtaisesti, tukevat asentajien työtä sisäilmaston ja energiatehokkuuden saavuttamiseksi.

Rakentamisen aikana usein havaittu ongelma on, että hankitut tuotteet eivät täytä vaatimuksia. Syynä tähän voi olla esimerkiksi se, että rakennusselitysten maininta ”tai vastaava” saattaa johtaa yhteensopimattomuuteen muihin laitteisiin nähden. Hankintasopimuksissa on esitettävä myös yhteensopivuusvaatimukset muiden laitteiden ja järjestelmien kanssa.

Toimivan rakennuksen toteuttamisessa on suuri määrä muuttuvia tekijöitä. Kaikki toteutetut ratkaisut todennetaan ainakin suunnitelmiin verrattuna. Hankekohtaisesti on sovittava menettelytavat poikkeamien käsittelyyn. Toteutuksen vertailu suunnitelmiin on ensisijaisesti urakoitsijoiden tehtävä ja toiseksi valvojien vastuulla. Toimivuuden osalta tarvitaan ToVa-vetäjän ja suunnittelijoiden panosta. Muutosten hallinta edellyttää lisäksi täydentävän käsittelyprosessin. Mitä enemmän on muutoksia, sitä enemmän tarvitaan myös luovutusasiakirjojen päivitystä hankintojen ja asennusten mukaisiksi.

Tarveselvitys ja hanke-suunnittelu	Suunnittelu	Toteutus-suunnittelu	Rakentaminen	Toimintakokeet, säädöt ja luovutus	Käyttö ja ylläpito
------------------------------------	-------------	----------------------	---------------------	------------------------------------	--------------------

Käyttöönoton edellytykset varmistetaan sillä, että järjestelmät on tehty suunnitelmien mukaisesti ja että ne sisältävät myös muutossuunnitelmat ja että toimintakokeille on varattu riittävästi aikaa. Eriyttämällä taloteknisten töiden luovutus rakennusteknisistä töistä ja asettamalla sekä sakollisia että kannustavia välitavoitteita rakennustöiden valmistumiselle voidaan edesauttaa riittävän ajan varaamista. Rakentamisen pysyminen suunnitellussa aikataulussa on myös säännöllisesti tarkistettava. Rakennuksen viimeiste-lyyn ja toimintakokeisiin valmistaudutaan laatimalla tarkentava aikataulu.

4.4.2 Sisäilmaston toimivuuden varmistaminen

Rakentamisvaiheessa on varmistettava, että rakennukseen asennettavat laitteet ja kojeet täyttävät suunnitteluvaatimukset. Rakentamisvaiheen mittaukset, joiden tuloksella on vaikutusta valmiin rakennuksen sisäilmastoon, ovat

- rakenteiden ilmanpitävyysmittaukset
- rakenteiden lämpökamerakuvaukset
- ilmanvaihtokanavien tiiviysmittaukset
- vesieristysten tiiviysmittaukset
- rakenneliitosten, erityisesti kevyiden ja raskaiden välisten, tiiviyteen vaikuttavat detaljit.

4.4.3 Energiatehokkuuden varmistaminen

Rakennuksen ilmatiiviyteen on Suomessa kiinnitetty entistä enemmän huomiota. Tiivi-yyttä voidaan parantaa vain rakentamisen laatua ja rakentamistapoja parantamalla. Tiivi-yyttä mitataan harvoin ennen rakennuksen käyttöönottoa, vaikka mittaamiselle ei yleensä ole teknisiä esteitä. Poisto- ja tuloilmapuhaltimen avulla voidaan saada aikaan 50 Pa:n ali- tai ylipaine. Mittaamalla samalla sisätilan ja ulkoilman välinen paine-ero ja tila- vuusvirta voidaan selvittää rakennuksen tai huoneen tiiviys. Ilmanvaihtokanavien tiiviys vaikuttaa ilmanvaihdon tehokkuuteen, ja se mitataan ennen rakennuksen käyttöönottoa.

- Rakentamisen laatu vaikuttaa energiankulutukseen:
 - vaipan todelliset U-arvot
 - vaipan tiiviys.
- Ilmanvaihtojärjestelmän toiminta:
 - ilmanvaihtojärjestelmän kokonaistehokkuus ja taloudellisuus
 - sisäilman laatu, jolla on oma hintansa energiatehokkuutta tarkasteltaessa.

Tarveselvitys ja hanke-suunnittelu	Suunnittelu	Toteutus-suunnittelu	Rakentaminen	Toimintakokeet, säädöt ja luovutus	Käyttö ja ylläpito
------------------------------------	-------------	----------------------	---------------------	------------------------------------	--------------------

4.4.4 Järjestelmäkohtaiset varmistukset

Vaippa

Suunnitteluvaiheessa on kartoitettu ulkovaipan mahdolliset riskitekijät ja varmistettu ulkovaipan toiminta valitun ilmanvaihto- ja lämmitysjärjestelmän yhteydessä laskennallisilla tarkasteluilla. Suunnitteluvaiheessa on määritetty ne ulkovaipan rakennedetailit, jotka sisältävät mahdollisen kylmäsilta- ja vuotoriskin. Esimerkiksi näiden seikkojen toteuttamiseen on kiinnitettävä erityistä huomiota:

- isojen ikkunarakenteiden liitoskohdat muuhun ulkovaipparakenteeseen
- isot ikkunapinta-alat oleskelu- ja työtiloissa
- lasirakenteiden liittyminen toisiinsa, erityisesti ulkonurkat
- ulko-ovet ja ikkunat
- mahdolliset rakenteelliset kylmäsilat (erityyppisten ulkovaipparakenteiden liitoskohdat, välipohja- ja lattiarakenteiden sekä yläpohjarakenteiden liittyminen ulkoseiniin)
- rakenneliitosten, erityisesti kevyiden ja raskaiden välisten, tiiviyyteen vaikuttavat detailit
- julkisivujen sisäänvedot ja ulosvedot
- korkeat, usean kerroksen läpi ulottuvat avoimet tilat
- sähkö- ja muut läpiviennit.

Nämä asiat on ToVa-toimijan käytävä läpi urakoitsijan kanssa.

ToVa-käyntien yhteydessä tarkastetaan ”pistokokeenomaisesti” seuraavat seikat:

- ilmavuoto- ja rakenteellisten kylmäsiltariskien kohdat
- lämmitysjärjestelmien asennus niiltä osin kun se koskee lattialämmityskaapeleiden asentamista ulkoseinäpintojen läheisyyteen
- ikkuna- ja ovirakenteiden tiiviys silmämääräisesti ja tarvittaessa savukokein ja lämpökuvauksen avulla
- varmistetaan, että toimisto-, työ- ja oleskelupisteiden läheisyydessä patterikonvektiota ei rakennesyyn estetä (mikäli radiaattorit)
- höyrynsulun asennus ja läpivientien tiivistäminen
- toteutusvaiheen lopussa todetaan ulkovaipan lämpötekniinen kunto ja tiiviys lämpökamerakuvauksella tarvittaessa kaksivaiheisesti, jolloin toisessa vaiheessa ulkovaippa kuvataan riittävän suuressa alipaineessa (vähintään 20 Pa:n ero normaaliin käyttö-

Tarveselvitys ja hanke-suunnittelu	Suunnittelu	Toteutus-suunnittelu	Rakentaminen	Toimintakokeet, säädöt ja luovutus	Käyttö ja ylläpito
------------------------------------	-------------	----------------------	---------------------	------------------------------------	--------------------

tilanteeseen); alipaine saadaan aikaan omalla ilmanvaihtojärjestelmällä tai erillisellä laitteistolla

- tarvittaessa määritetään tilojen tai koko rakennuksen ilmavuotoluku n_{50}
- lämmitys- ja ilmanvaihtojärjestelmien asianmukainen toiminta näiden tilojen yhteydessä.

LVI-järjestelmät

Ensimmäisenä tehtävänä työmaavaiheessa on varmistua siitä, että siirtymiselle suunnitteluvaiheesta rakentamisvaiheeseen on riittävät edellytykset. LVI-järjestelmien suunnitelmissa on oltava täsmälliset määrittelyt hankintojen perusteeksi. Järjestelmien toimintaselostukset ja laitteiden suoritusarvo vaatimukset ja niiden todentamismenettelyt on oltava esitettyinä suunnitelmissa siten, että lopputuloksen toimivuus on ennakolta arvioitavissa.

Kun urakoitsija on tehnyt laitevalintaehdotukset, päivittää suunnittelija arviot sisäilmastosta ja energiankäytöstä. Poikkeamat tavoitearvoista aiheuttavat päätöstarpeen joko toteutuksen tai tavoitteen korjaamiseksi. Arvioinnin perusteet, tulokset ja vaikutukset on kirjattava huoltokirjaan.

Tavoitteet ja toteutusratkaisut on perusteltava ja koulutettava asentajille ennen asennustöiden käynnistämistä. Erityisesti tavoitteen todentamiseen ja mitattavuuden varmistamiseen liittyvät tekijät on käytävä läpi aina kohdekohtaisesti.

Tuotekohtaisista asennusohjeista on varmistettava kohdekohtainen asennettavuus. Samalla on arvioitava mahdolliset riskitekijät, kuten ideaaliasennuksesta poikkeamisen aiheuttama

- ylimääräinen äänenkehitys
- haitallinen lisäpainehäviö
- kasvava mittausepävarmuus.

ToVa-käyntien yhteydessä käydään pistokokeenomaisesti läpi (osittain kerraten tavanomaisia valvojan tehtäviä)

- laite- ja asennustapatarkastus:
 - laitteiden varastointi, suojaus likaantumiselta, kunto ja oikea asennus
 - säätölaitteiden ja mittausantureiden asennus suunnitelmissa ja valmistajan ohjeissa annettuja asennustapoja ja suojaetäisyyksiä noudattaen

Tarveselvitys ja hanke-suunnittelu	Suunnittelu	Toteutus-suunnittelu	Rakentaminen	Toimintakokeet, säädöt ja luovutus	Käyttö ja ylläpito
------------------------------------	-------------	----------------------	---------------------	------------------------------------	--------------------

- sisäilmaston toimivuuteen vaikuttavien tekijöiden arviointi huoneissa:
 - lämmönluovuttimien asennukset
 - ilmanvaihdon päätelaitteiden sijoitus ja asennukset
 - lämpö- ja vesijohtojen sekä ilmastointikanavien lämmön- ja kosteudeneristykset
- energiankäyttöön vaikuttavien tekijöiden tarkastus:
 - ilmastointikoneiden ja erillispoistojen ilmavirran mittaussmahdollisuus
 - ilmastointikoneiden ominaissähkötehon mittaussmahdollisuus
 - ilmastointikoneiden lämpötilojen mittaus (LTO:n hyötysuhde)
 - jäteilmojen lämpötilan mittaussantureiden oikea sijoitus (sekoittunut ilma, LTO:n hyötysuhde)
 - nestevirtojen ja niiden lämpötilojen mittaussantureiden oikea sijoitus
 - lämpö- ja vesijohtojen sekä ilmastointikanavien lämmön- ja kosteudeneristykset.

Rakentamisvaiheessa vesi- ja viemäri-laitteistojen toimivuuden varmistaminen sisältää käytettävien tuotteiden ja tarvikkeiden suunnitelmanmukaisuuden varmistamisen sekä toteutuksen varmistamisen työselityksen ja piirustusten mukaiseksi. Vesijärjestelmän tiiviys varmistetaan painekokeella. Viemäripuolella voidaan myös tiiviys tarkastaa painekokeella rakentamismääräyskokoelman osan D1 mukaisesti.

Rakentamisvaiheessa saattaa tulla tarvetta joko vaihtaa jokin suunnitelmissa oleva tuote toiseen tai poiketa asennustyössä suunnitelmista. Näissä tapauksissa muutos tulee suunnitella ja tarkistaa muutoksen muihin järjestelmiin ja rakennusprosessin muihin vaiheisiin. Suunnittelemattomat muutokset saattavat johtaa muutosten kierteeseen.

Sähkö

Hankinta- ja rakentamisedellytysten varmistuksessa kiinnitetään huomiota siihen, että loistehon kompensoinnin tarve on selvitetty laskelmin. Jos kompensointilaskelmat osoittavat, ettei keskitettyä laitteistoa tarvita, on suositeltavaa jättää varaus laitteiston mahdollista myöhempää toteutusta varten. Loistehoa voidaan ottaa tai tuottaa jakeluverkkoon ilmaiseksi vain tietty määrä, tavallisesti 20 % pätötehon huippuarvosta. Rakennuksen induktiivinen loisteho kompensoidaan tarvittaessa sähköpääkeskukseen kytkettävällä kompensointilaitteistolla (toteutuksen ohjeistus sähkötietokorteissa ST 52.15 ja ST 52.16).

Tarveselvitys ja hanke-suunnittelu	Suunnittelu	Toteutus-suunnittelu	Rakentaminen	Toimintakokeet, säädöt ja luovutus	Käyttö ja ylläpito
------------------------------------	-------------	----------------------	---------------------	------------------------------------	--------------------

Sähkönkäytön seurannan mahdollistamiseksi varmistetaan mm. seuraavat seikat:

- Sähköpääkeskuksessa on kokonaissähkönkäytön seurannan mahdollistava mittaus (jännite, virta, energia, pätö-/loisteho, tehokerroin).
- On mittausliittimet siirrettävälle kokonaiskuormituksen mittaukselle.
- Nousukohtaista kuormitusseuranta varten pääkeskuksen lähdoissä on virtapihtimitauksen mahdollistavat johtolenkit.

Sähköjakelujärjestelmän yleistä toimivuutta silmällä pitäen kiinnitetään huomiota mm. seuraaviin seikkoihin:

- Jakokeskuksilla on omat nousujohdot.
- Sähköverkostossa on kuormituksen kasvuvaraa.
- Pistorasialiitännäisiä laitteita varten eri tiloissa on pistorasioita riittävästi, ja ne on asennettu käytön kannalta sopiviin paikkoihin.

Sähköjakelujärjestelmän asennusten työmaavaiheessa tapahtuvassa silmämääräisessä tarkastuksessa kiinnitetään huomiota mm. seuraaviin erityisesti sähköturvallisuuteen liittyviin asioihin:

- Laitteet ja tarvikkeet ovat vaatimusten mukaisia.
- Kosketusjännitesuojaukseen on käytetty kyseisessä tilassa hyväksytyjä suojausmenetelmiä.
- Sähkölaitteet ja sähköasennukset on sijoitettu niin, että ne eivät voi aiheuttaa vaarallista lämpenemistä.
- Asennuksissa on käytetty asianmukaisia johtimien poikkipintoja ja asennustapoja.
- Johtimien tunnusvärit vastaavat asennuksia ja vaatimuksia.
- Sähkölaitteita varten on tarvittavat erotus- ja käyttökytkimet.
- Liitännät ovat luotettavia ja liittimiä on riittävästi.
- Laitteiden kotelointi ja eristys on kunnossa.

Valaistus

Hankinta- ja rakentamisedellytysten varmistusvaiheessa tarkistetaan, että standardin EN 12464-1 määrittelemät ohjearvot valaistusvoimakkuudelle, kiusahäikäisyydelle ja värinnois-
 toille eri tiloissa ja eri työtehtävissä on huomioitu. Standardissa mainitaan valaistusvoimakkuuden huoltoarvo, joka on tietyn alueen keskimääräisen valaistusvoimakkuuden minimiarvo, joka tulee täytyä vanhassa asennuksessa ennen valaisinhuoltoa. Keskimää-

Tarveselvitys ja hanke-suunnittelu	Suunnittelu	Toteutus-suunnittelu	Rakentaminen	Toimintakokeet, säädöt ja luovutus	Käyttö ja ylläpito
------------------------------------	-------------	----------------------	---------------------	------------------------------------	--------------------

räinen valaistusvoimakkuus ei saa laskea annettujen arvojen alle, riippumatta asennuksen iästä tai olosuhteista. Alenemakertoimilla huomioidaan lamppujen vanhenemisesta johtuva valovirran aleneminen sekä lamppujen, valaisimien ja huonepintojen likaantumisen vaikutus.

Valaistuksen toteutusratkaisujen osalta varmistetaan, että valituilla lampputyypeillä on mahdollisimman suuri valotehokkuus liitäntälaitteineen ja pitkä hyötypolttoikä ottaen huomioon valon laatuvaatimukset (värilaji, värintoisto ja luminanssi) ja käyttövaatimukset (koko, valovirta, syttymis- ja palamisominaisuudet, himmentämismahdollisuudet jne.). Valaisinten osalta kiinnitetään huomiota siihen, että valituilla ratkaisuilla saavutetaan mahdollisimman hyvä valaistustulos ja valaistuksen hyötysuhde. Tehtävään sopivan valonjaon lisäksi on otettava huomioon valaisimen häikäisyominaisuudet, likaantumisen ja vanhenemisen aiheuttama valovirran aleneminen, puhdistuksen ja lampunvaihdon helppous, kiinnitystavat, IP-luokka, ulkonäkö jne.

Päivänvalon hyödyntämisessä kiinnitetään huomiota auringonsuojaukseen sekä häikäisyn, liikalämmön ja lämpöhäviöiden rajoittamiseen. Mikäli näin ei menetellä, voi jäähdytysenergian tarve kasvaa, kun lisätään päivänvalon osuutta valaistuksessa.

Valaistusjärjestelmäasennusten osalta kiinnitetään huomiota mm. seuraaviin toimivuuteen vaikuttaviin seikkoihin:

- Valaisimet on asennettu tarkoituksenmukaisella tavalla niin, että saavutetaan vaaditut valaistusolosuhteet.
- Valaistuksen ohjaukseen vaikuttavat anturit (läsnäolo-, liike-, valoisuusanturit jne.) on asennettu niin, että valaistusjärjestelmän tarkoituksenmukainen toiminta on mahdollista.

Rakennusautomaatio

Rakentamisen lopussa varmistetaan ja hyväksytään kaikki järjestelmälle asetetut tavoitteet yhdessä asiakkaan kanssa ToVa-katselmuksessa. Tarkistukset kohdistuvat pääasiassa asennuksiin, mittauksiin ja suunnitelmiin. Katselmuksessa varmistetaan ainakin seuraavat asiat:

- anturit ja kenttälaitteiden asennukset
- kaapelointityöt
- alakeskusten asennukset
- valvomon ja oheislaitteiden asennukset

Tarveselvitys ja hanke-suunnittelu	Suunnittelu	Toteutus-suunnittelu	Rakentaminen	Toimintakokeet, säädöt ja luovutus	Käyttö ja ylläpito
------------------------------------	-------------	----------------------	---------------------	------------------------------------	--------------------

- väylän mittaukset
- verkon puhtauden mittaukset
- ohjelmien ennakkotarkistukset
- urakoitsijan omat tarkistusdokumentit, itselle luovutusdokumentit
- järjestelmän omat tulosteet testeistä
- toimintakokeen suunnitelmat
- huoltohenkilöstön ja käyttäjien perehdyttämiseen ja koulutukseen laadittujen suunnitelmien sisältö.

Rakennusautomaatioasennuksiin liittyvien ToVa-toimenpiteiden päätavoitteena on varmistaa, että asennukset ja kytkennät on tehty prosessi- ja järjestelmäteknisesti ja että ne ovat suunnitelmien mukaiset. Työtä ohjaavat pääosin kohteen työselitys, kytkentäkaaviot ja muut asiakirjat. Työssä huomioitavia keskeisiä viranomaismääräyksiä ovat sähköturvallisuusmääräykset, lämpölaitosyhdistyksen määräykset ja palomääräykset. Rakennusautomaatioasennuksiin liittyviä ohjeistuksia löytyy ST-kortistosta Talotekniikka RYL:stä (ST 711.13, J7100.08.20).

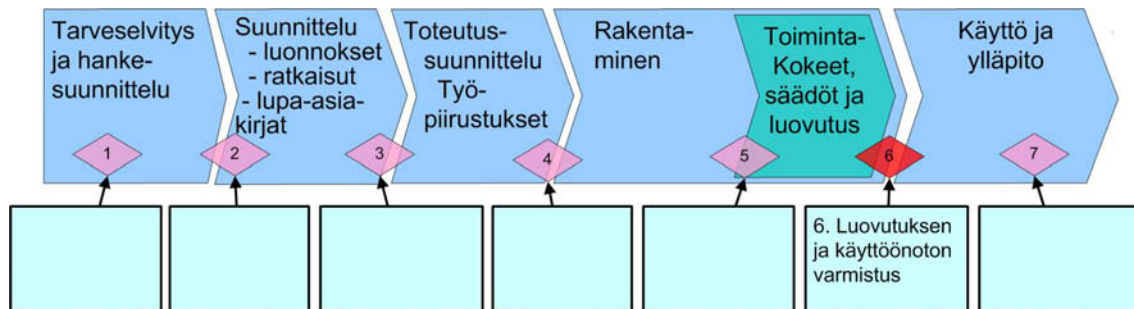
Ennen toimintakokeiden ja käyttöönoton aloittamista on varmistettava, että asennetut laitteet ovat toimintakuntoisia, yhdessä urakoitsijan kanssa ToVa-katselmuksessa. Urakoitsijan kanssa selvitetään ainakin seuraavat asiat:

- Rakennuksen huonetilat ovat valmiudessa kojeistojen normaalikäyttöä varten.
- Lämmitys- ja jäähdytysverkostot on asennettu ja esisäädetty.
- IV-kojeistot, kanavistot ja ilmanjakolaitteet on asennettu sekä puhdistettu asennusjätteistä.
- Kaikki sähkökeskukset ja johdotukset on asennettu siten, että virta tulee kojeille ja sähkölaitteille lopullisia johdinyhteyksiä myöten.
- Urakoitsija on testannut kojeiden ohjaukset, pyörimissuunnat, lukitukset ja hälytykset.
- Sääto- ja valvontalaitteet on asennettu, kytketty, ohjeisasetusarvot aseteltu ja järjestelmä esiviritetty.

ToVa-katselmus dokumentoidaan huoltokirjaan.

Tarveselvitys ja hanke-suunnittelu	Suunnittelu	Toteutus-suunnittelu	Rakentaminen	Toimintakokeet, säädöt ja luovutus	Käyttö ja ylläpito
------------------------------------	-------------	----------------------	--------------	---	--------------------

4.5 Luovutus ja käyttöönotto



4.5.1 Luovutuksen ja käyttöönoton ToVa

Luovutuksen ja käyttöönoton edellytysten varmistaminen

Luovutuksessa rakennus siirretään tilaajan omistukseen ja käyttäjien hyödynnettäväksi. Mikäli hankkeen luovutusta tilaajalle ei voida toteuttaa suunnitellusti, syynä on tavallisesti jokin seuraavista seikoista:

1. töiden keskeneräisyys
2. laatuvirheet
3. luovutusasiakirjojen puutteellisuus
4. tilaajan omat laiminlyönnit.

Nämä neljä puutekohtaa ovat esteitä myös rakennuksen sisäilmaston ja energiatehokkuuden todentamiselle. Ne vaikeuttavat ja voivat jopa estää toimintakokeiden suorittamisen. Edellä lainatun Re-engineering-tutkimuksen (Koski 2004) pääpaino on ollut työmaaprosessissa.

Rakennuksen luovutuskunnon tavoitteena tulee olla, että kaikki rakennus- ja asennustyöt on tehty, rakennus on virheetön ja järjestelmät on viritetty toimimaan suunnitelmien mukaisilla säädöillään. Tilaajan on kuitenkin käytännössä vaikea todeta sisäilmastoa ja energiatehokkuutta luovutushetkellä. Palautetietoa ja kokemusta saadaan vasta käytön aikana. Suunnittelijoiden, urakoitsijoiden ja toimittajien on luovutuksen yhteydessä osoitettava, että rakennus vastaa tavoitteita ja tulee todennäköisesti toimimaan suunnitellulla tavalla. Kun tässä onnistutaan, on saavutettu molempien osapuolien etu eikä luovutusprosessia tarvitse jatkaa takuutöiden hyväksymiseen saakka.

Tarveselvitys ja hanke-suunnittelu	Suunnittelu	Toteutus-suunnittelu	Rakentaminen	Toimintakokeet, säädöt ja luovutus	Käyttö ja ylläpito
------------------------------------	-------------	----------------------	--------------	------------------------------------	--------------------

Osapuolien tehtävät ja vastuut toimivuuden varmistamisessa luovutuksessa (Ashrae guideline 2004)

Hankkeen tilaaja

- tarkastaa ja antaa palautetta toimivuuden todentamisraportteihin ja loppuraporttiin
- tarkastaa, että rakennus on sovittujen tavoitteiden mukainen, ja ottaa rakennuksen vastaan
- reklamoi mahdollisista poikkeamista sopimukseen verrattuna
- järjestää taloudellisen loppuselvityksen.

Rakennuttajapäällikkö

- vahvistaa hyväksynnällään, että kiinteistö on valmis ja käyttökunnossa luovutusvaiheessa
- vahvistaa, että tarpeelliset todentamisen menettelyt on suoritettu
- järjestää viranomaisten tarkastukset ja katselmuksia
- osallistuu luovutusvaiheen tarkastuksiin ja katselmuksiin
- esittää tilaajalle rakennuksen vastaanottamista.

ToVa-toiminnan vetäjä

- laatii ToVa-suunnitelman luovutusta ja käyttöä varten
- avustaa tilaajaa toimivuuden varmistamiseen liittyvien määräysten sisällyttämisessä kiinteistön hoito- ja kunnossapitosopimukseen
- osallistuu luovutuksen yhteydessä pidettäviin katselmuksiin
- tarkistaa rakennuksen käyttö- ja huoltokirjat ja luovutusaineistot
- varmistaa myöhemmin muina vuodenaikoina tehtävien kokeiden suorittamisen ja liittää niiden tulokset osaksi ToVa-raporttia
- laatii ja luovuttaa ToVa-loppuraportin
- tarkistaa, että kaikki ToVa-tehtävät on suoritettu ja rakennus vastaa sisäilmasto- ja energiatehokkuustavoitteita
- varmistaa, että kaikki tarvittava dokumentaatio toimitetaan tilaajalle käyttö- ja huolto-ohjeiden ja suunnitelmien osalta
- ehdottaa tilaajalle järjestelmien ja asennusten hyväksymistä
- tarkistaa tilaajan esittämät mahdolliset poikkeamat.

Suunnittelijat

- tarkistavat ja kommentoivat ToVa-todentamisraportteja ja loppuraporttia
- ehdottavat järjestelmien ja rakennuksen hyväksyntää tilaajalle

Tarveselvitys ja hanke-suunnittelu	Suunnittelu	Toteutus-suunnittelu	Rakentaminen	Toimintakokeet, säädöt ja luovutus	Käyttö ja ylläpito
------------------------------------	-------------	----------------------	--------------	---	--------------------

- osallistuvat luovutustarkastuksiin ja katselmuksiin
- tarkistavat mahdolliset tilaajan esittämät poikkeamat ja osallistuvat tarvittaessa korjaaviin toimiin.

Pääurakoitsija ja muut urakoitsijat

- korjaavat ja viimeistelevät rakennuksen tarkistuslistan puutteista ja luovuttavat tarkistuslistan ToVa-vetäjälle ja rakennuttajalle
- toimittavat asennusten mukaisiksi päivitettyt piirustukset, suunnittelutiedostot ja muut luovutusasiakirjat ToVa-vetäjälle ja tilaajan edustajalle.

Järjestelmien toimintakokeita, tarkistuksia, säätöjä ja tasapainotuksia varten on varattava työmaavaiheen loppuun riittävä aika. Pienemmissä kohteissa 2–3 viikkoa voi olla riittävä. Suuremmissa hankkeissa tarvitaan enemmän aikaa. Ennen säätö- ja toimintakoevaihetta kaikkien rakennustöiden on oltava valmiita ja rakennuksen siivottu. Siten syntyy edellytys saada luovutukseen valmis toimintakuntoinen rakennus.

Rakennushankkeiden luovutusmenettelyjä on kehitetty mm. asuntotuotannon osalta Rakennusteollisuus RT:n ja ASRAn rahoittamassa ”Asuntotuotannon laadunvarmistus” -kehityshankkeessa. Hankkeen tuloksena kuvatussa luovutusmenettelyssä on seuraavat osatehtävät (Junnonen & Kankainen 2004):

1. Tarkista rakennuttajan edellyttämät asiat viimeistely- ja luovutusvaiheesta.
2. Laadi luovutussuunnitelma.
3. Luovuta luovutussuunnitelma rakennuttajalle.
4. Tarkasta rakennusteknisten töiden luovutusvalmius.
5. Tarkasta taloteknisten töiden luovutusvalmius.
6. Kokoa luovutusaineisto.
7. Hoida viranomaistarkastukset.
8. Tee ennakkotarkastukset.
9. Huolehdi vastaanottotarkastuksista.

Luovutuksen ja käyttöönoton onnistuminen edellyttää koko rakentamisprosessin ja järjestelmien välisten riippuvuuksien hyvää hallintaa, jossa hyödynnetään kunkin osapuolen parasta asiantuntemusta koko hankkeen ajalta. Luovutuskunnon varmistus- ja järjestelmien säätövaiheessa rakennus viritetään järjestelmineen toimimaan tavoitteeksi asetetulla tavalla.

Rakennuksen valmistumisajankohdasta riippuen osa sisäilmaston ja energiatehokkuuden todentavista kokeista voidaan suorittaa myöhemmin riittävän kylmänä vuodenaikana.

Tarveselvitys ja hanke-suunnittelu	Suunnittelu	Toteutus-suunnittelu	Rakentaminen	Toimintakokeet, säädöt ja luovutus	Käyttö ja ylläpito
------------------------------------	-------------	----------------------	--------------	---	--------------------

Näistä kokeista ja todentamisista syntyvät asiakirjat liitetään myöhemmin luovutusasiakirjoihin ja ToVa-loppuraporttiin.

ToVa-luovutusasiakirjat

Luovutuksen yhteydessä tilaajalle luovutetaan rakennuksen suunnittelun ja rakentamisen yhteydessä tuotetut ja kootut asiakirjat (The Building Commissioning Guide 2005):

- tilaajan tavoitteet ja niistä johdetut suunnitteluvaatimukset
- ToVa-suunnitelmat
- suunnittelukatselmusten tulokset
- toimintakokeiden ja säätöjen suunnitelmat, menettelyt ja raportit
- ToVa-päiväkirja (ToVa-vetäjän pitämä)
- ToVa-kokousten muistiot ja asialistat
- ToVa-tarkastusten muistiot
- koulutussuunnitelmat ja aineistot
- ToVa-loppuraportti
- suunnitelma hankkeen käytönaikaisesta ToVa-toiminnasta.

Normaaliin luovutuskäytäntöön kuuluu, että tilaajalle luovutetaan ajantasainen dokumentaatio suunnitteluasiakirjoista, hankintoihin liittyvistä toimittajien tuote- ja yhteystiedoista, tuotesertifikaateista, laadunhallinnan asiakirjoista ja laatua todentavista dokumenteista. Hankkeiden vakiintuneisiin menettelyihin kuuluu myös käyttö- ja huoltokirjojen luovutus. ToVa-toiminta täydentää ja parantaa luovutusdokumentaation sisältöä ja laatua. Pääosa hankkeiden luovutusaineistosta syntyy kuitenkin normaalin hankekäytännön tuloksena.

4.5.2 Sisäilmaston toimivuuden varmistaminen

Käyttöönottovaiheessa tehtävät toimintakokeet jakaantuvat tavoitearvojen todentamismittauksiin ja toimintaselvityksiin. Tavoitearvojen todentamismittaukset sisältävät toisaalta säätöparametrien tarkastamisen ja toisaalta sisäilman laadun ja olosuhteiden mittaukset. Mittaukset voivat sisältää seuraavia suureita:

- ilmanvaihdon määrä ja hygienia
- lämpöolot (lämpötilat, veto, ilmankosteus)
- paine-ero sisä- ja ulkoilman välillä
- sisäilman laatu (kemialliset, pöly, kuidut)

Tarveselvitys ja hanke-suunnittelu	Suunnittelu	Toteutus-suunnittelu	Rakentaminen	Toimintakokeet, säädöt ja luovutus	Käyttö ja ylläpito
------------------------------------	-------------	----------------------	--------------	---	--------------------

- äänenpainetaso (LVI-laitteiden melutaso)
- ilman- ja askeläänen eristävyysmittaukset.

Mittaukset suoritetaan tarkoituksenmukaisessa määrässä rakennuksen tiloja.

Toimintaselvitykset tehdään järjestelmittäin:

- ilmanvaihtojärjestelmä
- lämmitysjärjestelmä
- automaatiojärjestelmä
- valaistusjärjestelmä.

Tässäkin tapauksessa toimintaselvitys tehdään ToVan puitteissa vain pistokokeenomaisesti. Tärkeää on myös todeta eri järjestelmien yhteensopivuus ja yhteistoiminta.

4.5.3 Energiätehokkuuden varmistaminen käyttöönottoaiheessa

Ennen rakennuksen käyttöönottoa suoritetaan toimintakokeet, joissa mitataan yleensä ilmanvaihdon tilavuusvirrat maksimitilanteessa, lämpötiloja, laitteiden toimintaa ja painetasoja jne. Toimintakokeet eivät kata kaikkia komponentteja, joten eivät ne ole eivätkä voi olla kaikenkattavia kokeita. Ensimmäistä käyttövuotta voidaankin pitää aikana, jolloin laitteiden optimaalinen käyttö selvitetään ja lopulliset säätöparametrit asetetaan. Valitut komponentit asennetaan ja saatetaan toimintakuntoon ja niiden todellinen energiatehokkuus säädetään niissä olosuhteissa, joissa ne toimivat (yli-/alimitoitus). Komponenttien suunnittelutietoa voi hankkia esimerkiksi valmistajien kotisivuilta, ja sitä voidaan hyödyntää komponenttien energiateknisissä tarkasteluissa.

4.5.4 Järjestelmäkohtaiset varmistukset

Vaippa

Vaipan toimivuusedellytykset on pitänyt varmistaa jo suunnitteluvaiheen aikana ja todentaa rakennusvaiheen kuluessa. Käyttöönottoaiheessa voidaan tehdä lämpökuvauks kahdessa vaiheessa, mikäli se katsotaan tarpeelliseksi ja mikäli sitä ei ole voitu tehdä sääolojen vuoksi rakennusvaiheen lopussa. Tällöin ilmanvaihto- ja lämmitysjärjestelmän tulee olla normaalissa käyttötilanteessa.

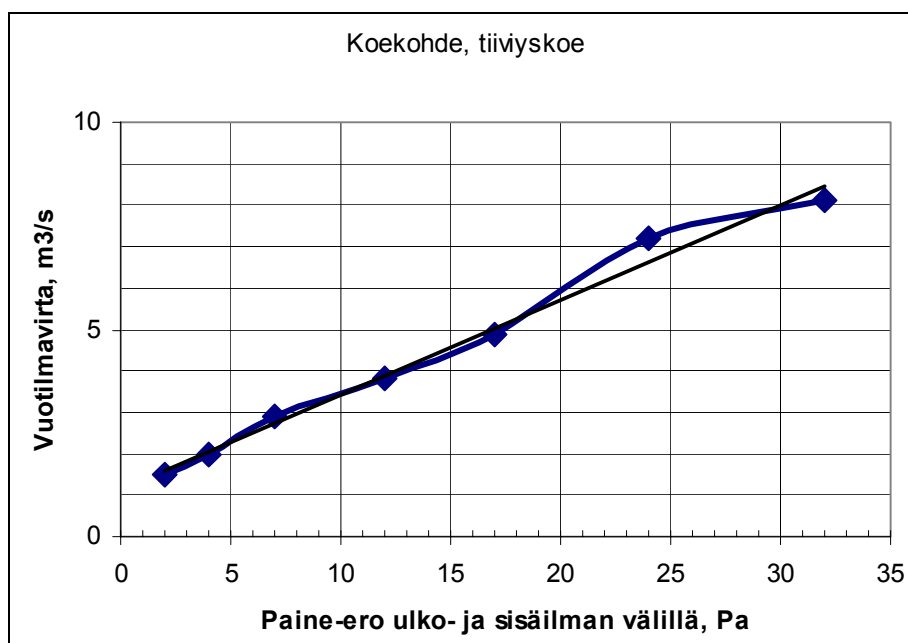
Lämpökuvauksen käyttöä rajoittavat sääolosuhteet: ulko- ja sisäilman lämpötilaeron tulee olla 20 °C ja vähintään 15 °C. Tällöin rakentamisvaiheessa lämpökuvauksen käyttö

Tarveselvitys ja hanke-suunnittelu	Suunnittelu	Toteutus-suunnittelu	Rakentaminen	Toimintakokeet, säädöt ja luovutus	Käyttö ja ylläpito
------------------------------------	-------------	----------------------	--------------	------------------------------------	--------------------

saattaa olla epätarkoituksenmukaista, vaikka mahdolliset eristepuutteet ja ilma-vuotokohdat voidaankin paikallistaa.

Vaipan lämpötekni- sen toimivuuden varmentamiseksi kuvataan rakennus ulko- ja sisäpuolelta. Ulkopuolisessa kuvauksessa täytyy ottaa huomioon ulkoseinärakenteiden ilma- raot ja mittaustilannetta edeltäneet sääolosuhteet. Lämpökuvau- sus tulee suorittaa RT-kortin RT 14-10850 ja RATU-suunnitteluohjeen Ratu 1213-S mukaisesti. Lisätietoa saa esimerkiksi julkaisusta Paloniitty ja Kauppinen (2006).

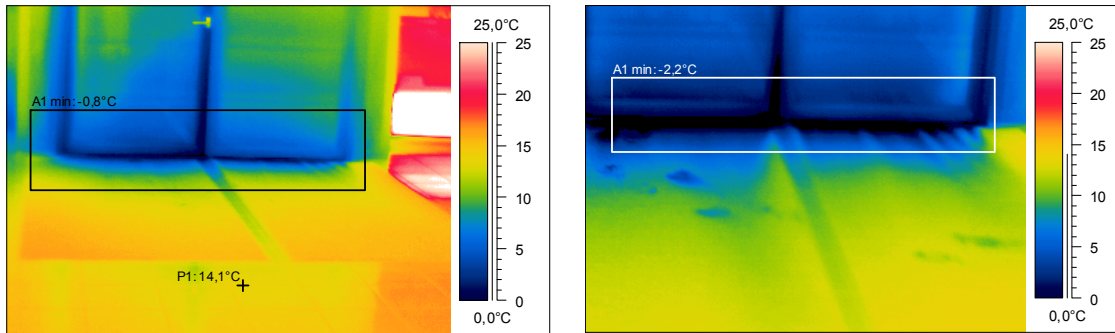
Toinen kuvauskierrös suoritetaan alipaineessa. Riittävä alipaine normaaliin käyttötilanteeseen nähden (alipaine ulkoilmaan nähden n. 5 Pa) tulee olla noin 20 Pa suurempi eli noin -20 ...-25 Pa. Tämä alipaine voidaan saavuttaa rakennuksen omalla järjestelmällä pysäyttämällä tuloilmapuhaltimet ja käyttämällä poistopuhaltimia. Mikäli rakennuksen ilmapuotoluku halutaan määrittää, on pystyttävä mittaamaan poistoilmavirrat useassa eri alipaineessa, mikäli 50 Pa:n alipainetta ei saavuteta. Tällöin tuloilmasäleik- köjen, huippuimureiden ja muiden ilmanvaihtojärjestelmän osien kautta tuleva ilmavir- taus pitää pystyä estämään. Esimerkki rakennuksen omalla ilmanvaihtojärjestelmällä tehdystä mittauksesta on kuvassa 22. Tässä tapauksessa huippuimureiden, kokeen aikana pois käytöstä olevien poistopuhaltimien ja tuloilmapuhaltimien kautta virtaavan ulkoil- man osuutta ei ole voitu eritellä erikseen ulkovaipan vuotokohdista. Vuotokohdat on määritetty lämpökuvauksen avulla.



Kuva 22. Ilmavuotokäyrä eräässä koekohteessa.

Tarveselvitys ja hanke-suunnittelu	Suunnittelu	Toteutus-suunnittelu	Rakentaminen	Toimintakokeet, säädöt ja luovutus	Käyttö ja ylläpito
------------------------------------	-------------	----------------------	--------------	------------------------------------	--------------------

Esimerkki ilmapuodosta ja kylmäsilloista ovirakenteessa on kuvissa 23 ja 24. Kuva 23 esittää tilannetta normaalissa käyttötilanteessa ja Kuva 24 n. 30 Pa:n alipaineessa.



Kuva 23. Ulko-ovi käyttötilanteessa (lievä alipaine). Kuva 24. Ulko-ovi n. 30 Pa:n alipaineessa.

Käyttöönottoaiheessa on yleensä tehty ilmanvaihtojärjestelmän ja lämmitysjärjestelmän perussäädöt. Lämmitysjärjestelmän säätöihin voidaan joutua puuttumaan varsinaisen käytön aikana, silloin kun ulkoilman lämpötila on sopiva (riittävän matala). Käyttöönottoaiheen aikana vaipan lämpöteknisen toimivuuden mittaamisen lisäksi on mitattava sisälämpötilat ja tehtävä huomioita lämmitysjärjestelmän toimivuudesta.

Käyttövaiheen aikana voidaan lämpöteknisen toimivuuden mittaukset tehdä uudestaan, kun on saatavissa käyttäjien kokemuksia rakennuksen toimivuudesta ja olosuhteista kylmältä jaksolta. Käyttäjien kokemukset kartoitetaan kyselyllä. Mikäli rakennuksessa on havaittu vetohaittoja, voidaan asianomaisissa kohdissa tehdä vetomittauksia.

ToVa-käynti käyttöönottoaiheessa käsittää rakennuksen lämpökuvauksen kahdessa vaiheessa. Mikäli olosuhteiden takia mittaustulokset täytyy varmentaa käyttövaiheessa, lämpökuvauksen uusitaan käyttäen hyväksi käyttäjäkyselyn tuloksia.

Koska olosuhteet ovat ulkovaipan toimivuuden, lämmitysjärjestelmän toiminnan, ilmanvaihtojärjestelmän toiminnan ja sisäisten kuormien yhteisvaikutuksen summa, vaippaan kohdistuvat mittaus- ja todentamistoimenpiteet tulee sovittaa mahdollisuuksien mukaan yhteen taloteknisten järjestelmien ToVa-käyntien yhteyteen.

Tarveselvitys ja hanke-suunnittelu	Suunnittelu	Toteutus-suunnittelu	Rakentaminen	Toimintakokeet, säädöt ja luovutus	Käyttö ja ylläpito
------------------------------------	-------------	----------------------	--------------	------------------------------------	--------------------

LVI-järjestelmät

Tässä yhteydessä päivitetään mahdollisuuksien mukaan arviot sisäilmastosta ja energiankäytöstä. Poikkeamat tavoitearvoista aiheuttavat päätöstarpeen joko toteutuksen tai tavoitteen korjaamiseksi. Tarkasteltavia asioita voivat olla esim.

- sisäilmastoluokka
- rakennustöiden puhtausluokka
- rakennusmateriaalien päästöluokka
- lämmitysenergian vuotuinen ominaiskulutus
- ilmanvaihdon ominaissähköteho.

ToVa-käynnin yhteydessä käydään pistokokeenomaisesti läpi seuraavat seikat:

- laitteiden aistinvarainen tarkastus
 - puhtaus
 - se, että säätöpellit ja säätimet on asennettu valmistajan ohjeissa annettuja suojaetäisyyksiä noudattaen
- sisäilmaston toimivuuteen vaikuttavien tekijöiden mittaus huoneissa
 - tulo- ja poistoilmamäärät (normaali- ja tehostustilanne)
 - ilman lämpötila ja suhteellinen kosteus
 - pintalämpötilat
 - veto (vain, jos luovutus ja käyttöönotto tapahtuvat lämmitysajaksolla)
 - painesuhteet ulko- ja sisäilman välillä
 - äänitaso
 - sisäilman laatu (pöly, mineraalikuidut)
- energiankäyttöön vaikuttavien tekijöiden tarkastus
 - ilmastointikoneiden ja erillispoistojen ilmavirran mittaus
 - ilmastointikoneiden ominaissähkötehon määrittäminen
 - ilmastointikoneiden lämpötilojen mittaus (LTO:n hyötysuhde)
 - jäteilmojen lämpötilan mittaus
 - lämpötilojen asetusarvot: tuloilma, LTO:n jäätymissuojaus
 - ohjausten ja käyntiaikojen tarkastus.

Luovutus- ja käyttöönottovaiheessa varmistetaan, mikäli mahdollista, että järjestelmät on rakennettu suunnitelmien ja työselitysten mukaisesti. Käyttökokeilla varmistetaan laitteiden ja järjestelmien toimivuus. Tarvittaessa järjestelmän suoritusarvoja voidaan mitata. Liitteessä G on esimerkkejä toimivuuden varmistuksen yksityiskohdista.

Tarveselvitys ja hanke-suunnittelu	Suunnittelu	Toteutus-suunnittelu	Rakentaminen	Toimintakokeet, säädöt ja luovutus	Käyttö ja ylläpito
------------------------------------	-------------	----------------------	--------------	------------------------------------	--------------------

Sähkö ja valaistus

Kaikille rakennetuille, korjatuille ja huolletuille sähkölaitteistoille on niiden rakentajan tai korjaajan tehtävä käyttöönottotarkastus. Näiden erilaisten tarkastusten ja katselmusten tarkoituksena on aina turvallisuuden, toimivuuden tai sopimustenmukaisuuden varmistaminen. Käyttöönottotarkastus tehdään pienjännitesähköasennusstandardin mukaisesti silmämääräisen havainnoinnin ja testauksen menetelmin (SFS 6000-6-61).

Silmämääräisen tarkastuksen suorittamiselle ei voi määritellä mitään tarkkaa ajankohtaa, vaan havainnointi ja tarvittaessa myös kirjaaminen tapahtuvat asennustyön kuluessa. Tavoite on, että havaitut virheet ja puutteet korjataan sitä mukaa kuin niitä ilmenee, jotta asennustyö voidaan saada kerralla kuntoon. Silmämääräinen tarkastus tehdään yleensä ennen testauksia.

Asennuksille on tehtävä mittauksia ja testauksia, jotta voidaan varmistua sähkölaitteistojen turvallisuudesta ja toimivuudesta. Testaukset pyritään tekemään pienjännitesähköasennusstandardin mukaisesti seuraavassa järjestyksessä ja tulokset kirjataan riittävän laajasti mittauspöytäkirjoihin:

- suojajohtimen jatkuvuus
- sähköasennuksen eristysresistanssi
- SELV- ja PELV-piirien suojaerotettujen piirien erotus
- lattia- ja seinäpintojen resistanssi
- syötön automaattisen poiskytkennän toiminta
- napaisuus
- jännitelujuus
- toimintakokeet.

Sähköalan toimintakokeet liittyvät usein LVI-prosessin tai muun laitteiston (liukupor-
taat, hissit jne.) toimintakokeisiin. Toimintakokeet suorittaa pääsääntöisesti urakoitsija. Toimintakokeen tuloksena saadaan mittauspöytäkirjat.

Myös sähköalan koekäytöt liittyvät usein LVI-alan koekäyttöihin, joissa sähköalan toiminnot tulee testata samanaikaisesti. Koekäyttöjä ovat esimerkiksi lämmitys-, ilmastointi- ja jäähdytysjärjestelmien koekäytöt. Puhtaasti sähköalan koekäyttöjä ovat mm. seuraavat:

- voimalaitokset ja varavoimalaitokset
- muuntamot
- kompensointilaitokset

Tarveselvitys ja hanke-suunnittelu	Suunnittelu	Toteutus-suunnittelu	Rakentaminen	Toimintakokeet, säädöt ja luovutus	Käyttö ja ylläpito
------------------------------------	-------------	----------------------	--------------	---	--------------------

- akkulataamot
- sähköverkko laitteineen (esimerkiksi valaisimet ja valaistuksen ohjausjärjestelmät, saatto- ja luiskalämmitykset).

Koekäyttöjen tulokset taltioidaan asiakirjoihin. Koekäyttöjä voidaan uusia ylläpitovaiheessa joko järjestelmien kunnan tarkastamiseksi tai silloin kun olosuhteet muuttuvat esimerkiksi kuormitusten osalta.

ToVa-käynnin yhteydessä todetaan, että edellä mainitut asiat on suoritettu ja tulokset on kirjattu mittauspöytäkirjoihin.

Lisäksi on suositeltavaa suorittaa rakennuksen energiatehokkuuden seuranta helpottavia mittauksia. Niitä ovat

- rakennuksen sähkönkäytön tyhjäkäyntituntehot (rakennuksen minimitehot ilman sähkölämmitys-/jäähdytyskuormia)
- ilmanvaihtokoneiden ominaissähkötehot (SFP-luvut).

Näihin liittyviä mittausmenetelmiä käsitellään kohdassa 5.2.2 Sähkön mittaukset. Ilmanvaihtokoneista mitataan käyttönotossa normaalisti puhaltimien sähkömoottoreiden (mukaan lukien mahdolliset taajuusmuuttajat) ottamat hetkelliset sähkövirrat. Laajentamalla tämä mittaus koskemaan myös sähkömoottorien pätötehoja voidaan niiden ja ilmavirtojen avulla määrittää ilmanvaihtokoneiden SFP-luvut (LVI 30-10349, 2004).

Saatto- ja ulkoalueiden sähkölämmityksen kohdalta varmistetaan, että ohjaus tapahtuu tarpeenmukaisesti esimerkiksi rakennusautomaatiojärjestelmän ohjaamana.

Tarpeen mukaan voidaan tarkistaa valaistusvoimakkuusmittauksin, täyttääkö valaistusasennus lasketut arvot tai onko valaistus suositusten tai määräysten mukainen. Näitä mittauksia voidaan täydentää luminanssimittauksilla. Mittausten käytännön suorittamisesta löytyy ohjeita viitteestä Suomen Valoteknillinen Seura ry (1978).

Valaistuksen ohjausjärjestelmän toimintakokeilla varmistetaan, että ohjausjärjestelmän ohjaussignaalit menevät haluttuun pisteeseen. Ulkovalaistuksen ohjauksen osalta varmistetaan, että ohjaus tapahtuu valoisuuden ja aikaohjelman mukaisesti.

Tarveselvitys ja hanke-suunnittelu	Suunnittelu	Toteutus-suunnittelu	Rakentaminen	Toimintakokeet, säädöt ja luovutus	Käyttö ja ylläpito
------------------------------------	-------------	----------------------	--------------	---	--------------------

Rakennusautomaatio

Luovutuksen ja käyttöönoton varmistuksessa tarkistetaan, että hankittu laitteisto vastaa kaikilta osin urakkasopimuksessa määritettyjä ehtoja. Rakennusautomaatiojärjestelmän osalta ennen käyttöönottoa todennetaan, että talotekniikan vastaanottomenettely on suoritettu asianmukaisesti. Vastaanottomenettelyn tärkeimmät osat ovat laite- ja asennustapataarkastukset, toimintakokeet, koekäyttö ja vastaanottotarkastus.

Automaatiojärjestelmän alakeskuksia ja kenttälaitteita koskevat asennustapa- ja laite-tarkastukset tapahtuvat vaiheittain koko rakentamisprojektin ajan. Tarkastuksessa todetaan urakka-asiakirjoihin ja hyväksytyihin työpiirustuksiin vertaamalla, sisältyvätkö toimitukseen kaikki laitteet ja järjestelmät, onko laitevalinnat suoritettu oikein tekniset vaatimukset ja asennusolosuhteet huomioon ottaen, onko laitteet sijoitettu käyttö- ja prosessiteknisesti oikein ja täyttävätkö asennukset ja asennusmateriaalit viranomaisten ja urakkaohjelman vaatimukset.

Luovutus- ja käyttöönottovaiheen lopussa hyväksytään kaikki järjestelmälle asetetut tavoitteet yhdessä asiakkaan kanssa ToVa-katselmuksessa. Katselmuksessa varmistetaan ainakin seuraavat asiat:

Asennuksista tarkistetaan (ST 711.04, ST 730.01, ST 730.02) seuraavat asiat:

- Laitevalinnat on tarkistettu.
- Laitemerkinnät kentällä ja graafisessa valvomo-ohjelmassa on tarkistettu.
- Anturit on sijoitettu mittausteknisesti oikeisiin paikkoihin.
- Kenttälaitteet on sijoitettu siten, että ne voidaan huoltaa helposti.
- Järjestelmän mekaaninen ja sähköinen toimivuus on tarkastettu laitekohtaisesti.
- Anturit on kalibroitu ja lukemat tarkistettu.
- Sääntökaavioiden toiminnallisuus on testattu.
- Sääntökaavioiden sisään- ja ulostulot on testattu.
- Sääntökaavioiden laitteet pyörivät ja toimivat oikeaan suuntaan.
- Hälytyspisteet on testattu hälyttäviltä laitteilta asti aiheuttamalla hälytys.
- Lukitukset ja turvatoiminnot toimivat oikein.

Ohjelmoinnista tarkistetaan (ST 711.04, ST 730.02) seuraavat asiat:

- Käyttö- ja aikaohjelmat sekä raja-arvot toimivat suunnitelmien mukaan.
- Sääntöpiirien porrastukset, kompensointikäyrät ja keskiarvolaskennat toimivat oikealla tavalla.

Tarveselvitys ja hanke-suunnittelu	Suunnittelu	Toteutus-suunnittelu	Rakentaminen	Toimintakokeet, säädöt ja luovutus	Käyttö ja ylläpito
------------------------------------	-------------	----------------------	--------------	---	--------------------

- Ohjelmointi on suoritettu urakka-asiakirjojen mukaisessa laajuudessa.
- Valvomon ja sen oheislaitteiden toiminta on tarkistettu.
- Liitynnät ulkoisiin järjestelmiin on testattu.

Asiakirjoista tarkistetaan (ST 711.12) seuraavat asiat:

- Suunnitelmapiiirustuksia on päivitetty jatkuvasti siten, että ne vastaavat toteutettua kokonaisuutta.
- Luovutusasiakirjojen paikkansapitävyys ja niiden sisältö on tarkistettu.
- Automaatioon liitetyt toimivuuden todentamismittaukset ja -raportit tarkistetaan.

Käyttö- ja huolto-ohjeista tarkistetaan (RakMK A4) seuraavat asiat:

- Käytönopastuksen ja koulutuksen saaneet henkilöt ovat osallistuneet toimintakokeeseen.
- Automaatiojärjestelmästä on laadittu kirjalliset käyttö- ja huolto-ohjeet suunnitelmien mukaan.
- Käyttö- ja huolto-ohjeet ovat suomenkieliset.

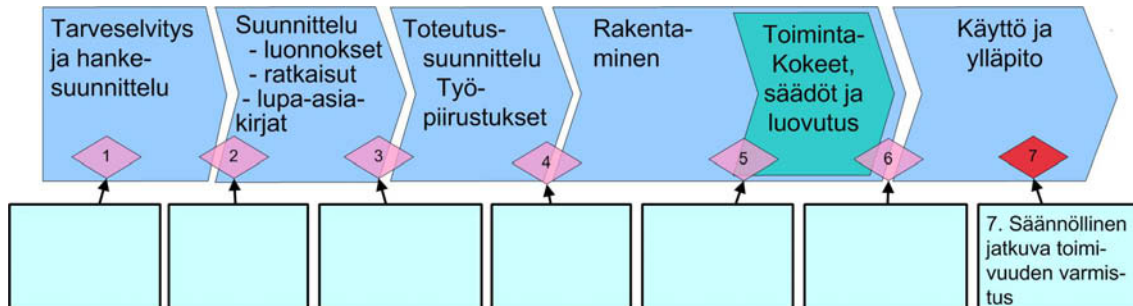
Käyttökoulutuksesta tarkistetaan seuraavat asiat:

- Käyttöhenkilökunnalle on annettu peruskoulutus.
- Käyttöhenkilökunnalle on annettu tai suunniteltu järjestelmäkoulutus.
- Takuuaikaiset käyttökoulutukset on suunniteltu.

Rakennusautomaatiojärjestelmään liittyviä ohjeistuksia löytyy KH- ja ST-kortistosta (KH-kortisto, ST-kortisto).

Tarveselvitys ja hanke-suunnittelu	Suunnittelu	Toteutus-suunnittelu	Rakentaminen	Toimintakokeet, säädöt ja luovutus	Käyttö ja ylläpito
------------------------------------	-------------	----------------------	--------------	------------------------------------	--------------------

4.6 Käyttö ja ylläpito



Rakennuksen toimivuus ja omistajan sekä käyttäjän asettamien tavoitteiden toteutuminen päästään lopulta todentamaan vasta käyttövaiheessa. Tällöinkin rakennuksen ja sen eri järjestelmien virittäminen vastaamaan rakennuksen todellista käyttöä voi viedä verraten pitkän ajan, minkä vuoksi ”normaali tilanne” rakennuksessa saavutetaan usein vasta 1–2 vuotta käyttöönoton jälkeen. Em. ”viritysvaihe” on kuitenkin tärkeä osa käyttövaiheen ToVa-toimintaa, ja viimeistään sen yhteydessä tulee myös rakennuksen huolto- ja ylläpito-organisaatio ja sen henkilöstö kytkeä tiiviisti mukaan säännölliseen ja jatkuvaan ToVa-toimintaan. Samalla on huolehdittava myös ns. loppukäyttäjien opastamisesta ja perehdyttämisestä rakennuksen oikeaan käyttöön.

4.6.1 Käytön ja ylläpidon edellytysten varmistaminen

Näin varmistetaan rakennuksen häiriötön käyttö ja toiminta:

- Tarkista, että rakennuskohtaiset käyttöohjeet on laadittu ja että ne sisältävät kaikki käytön ja ylläpidon kannalta oleelliset tiedot.
- Varmista, että käyttöhenkilöstö on perehdytetty ja se hallitsee mm. taloteknisten järjestelmien käytön.
- Todenna rakennuksen ja järjestelmien toimivuus sekä niiden keskinäinen yhteensopivuus.
- Varmista eri järjestelmien ja vaipan yhteisvaikutusten toimivuus.
- Organisoி vähintään kuukausitasoinen energiankulutusseuranta ja tulosten analysointi (mm. vertailu suunnitteluvaiheen laskennallisiin kulutuksiin).
- Mittaa olosuhteiden toteutuneet arvot ja vertaa niitä tavoitteisiin.
- Todenna sisäilmaston taso ja rakennuksen energiatehokkuus mittauksin.
- Tarkenna ToVa-suunnitelmaan käytönaikaiset tehtävät (eli käytön suunnittelu).

Tarveselvitys ja hanke-suunnittelu	Suunnittelu	Toteutus-suunnittelu	Rakentaminen	Toimintakokeet, säädöt ja luovutus	Käyttö ja ylläpito
------------------------------------	-------------	----------------------	--------------	------------------------------------	--------------------

4.6.2 Sisäilmaston jatkuva varmistaminen

Käyttövaiheessa suoritetaan tarkoituksenmukaisessa määrässä rakennuksen tiloja sisäilmaston tavoitearvojen todentamismittaukset, jotka ovat samoja kuin käyttöönottovaiheessa:

- ilmanvaihdon määrä ja hygienia
- lämpöolot (lämpötilat, veto, ilmankosteus)
- painesuhteet ulos tai rakennuksen sisällä
- sisäilman laatu (kemia, pöly, kuidut)
- äänenpainetaso.

Lisäksi mittaustuloksia voidaan verrata muihinkin normeihin, esim. Suomen rakentamismääräyskokoelman osaan D2 tai sosiaali- ja terveysministeriön asumisterveysohjeeseen. Tällöin mittaukset voivat sisältää edellä mainittujen lisäksi esim. mikrobien mittaukset. Muita mittauksia tässä vaiheessa ovat rakenteiden ilmanpitävyysmittaukset, kosteusmittaukset ja lämpökamerakuvaukset. Lisäksi IV-koneiden suodattimet on syytä tarkistaa (Asumisterveysohje 2003).

Edellä esitettyjen mittausten lisäksi vanhemmissa rakennuksissa voi tarvittaessa olla syytä tehdä lisämittauksia, kuten mikrobimittaukset rakenteista, rakenteiden pinnalta ja ilmasta.

Tavanomaisia sisäilmastoon liittyviä mittauksia on suositeltavaa tehdä määräajoin eikä vasta sitten, kun käyttäjien tyytymättömyys pakottaa siihen. Mittaustuloksia voi koota seurantaraporttiin, jolloin mahdolliset ongelmakohdat tulevat esille, ennen kuin ne ovat käyttäjien ongelmana. Näiden raporttien tulisi olla huoltokirjan liitteissä.

Ilmastointiprosessia on helppo seurata ja valvoa suoraan automaatiojärjestelmän valvomopäätteeltä. Seisontavaiheessa voidaan todeta seisonta-automaation säätölämpötila ja nähdä myös muista lämpötiloista, ovatko ne hyväksyttäviä. Käyntivaiheessa nähdään ilmanvaihtojärjestelmän eli prosessin lämpötilat, pumppujen käyntitilat ja tuloilman sekä huoneilman lämpötilat. Ilmastointiprosessit valvotaan säännöllisin, esimerkiksi yhden viikon väliajoin. Toimivuuden varmistamisessa voidaan hyödyntää myös automaatiojärjestelmän generoimia valmisraportteja, kuten käynnissä olevat pumput ja puhaltimet, käyttöveden lämpötilat rakennuksittain, huonelämpötilat rakennuksissa ja eri rakennusten lämpötilat halutusta mittauspisteestä.

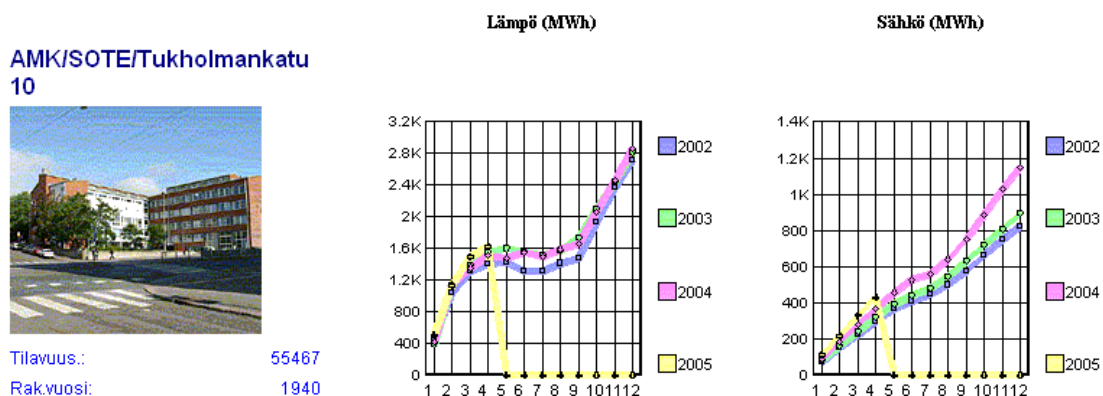
Tarveselvitys ja hanke-suunnittelu	Suunnittelu	Toteutus-suunnittelu	Rakentaminen	Toimintakokeet, säädöt ja luovutus	Käyttö ja ylläpito
------------------------------------	-------------	----------------------	--------------	------------------------------------	--------------------

4.6.3 Energiatehokkuuden jatkuva varmistaminen

Energiatehokkuuden jatkuva tarkkailu on saatava kiinteäksi osaksi rakennuksen käyttö- ja ylläpitotoimintoja. Sen perustana ovat rakennuksen kulutusten mittaus ja näin saatavien energiankulutustietojen säännöllinen analysointi. Kaikissa rakennuksissa tulee järjestää vähintään kuukausitasoinen kulutusten seuranta, johon jo laskutusmittarit tarjoavat hyvät edellytykset. Suurissa kohteissa on syytä asentaa alamittauksia tärkeimpien energian osakulutusten tarkkailemiseksi. Kun tähän varaudutaan jo suunnittelussa, voidaan mm. sähkön tärkeimmät kulutusryhmät saada verraten helposti ja kohtuullisin kustannuksin hallintaan (ks. kohta 4.2.3 Energiatehokkuuden varmistaminen). Hyödyntämällä tarjolla olevia atk-pohjaisia kulutusseurantajärjestelmiä voidaan jo pelkkien laskutusmittareidenkin avulla pienellä vaivalla ja marginaalisin kustannuksin varmistaa energiatehokkuuden toteutuminen ja pysyvyys. Samalla luodaan luotettava tietopohja energiatehokkuuden kehittämiseksi ja mm. rakennuksen energiatodistuksen laatimiseksi olemassa oleville rakennuksille.

Oman kulutuksen jatkuva tarkkailu

Rakennuksen omien toteutuneiden (lämmön, sähkön ja veden) kulutusten seuranta ja vertailu aiempiin vastaaviin tietoihin muodostaa perustan energiatehokkuuden varmistamiselle. Näin luodaan perusta energiatehokkuuden jatkuvalle arvioinnille ja voidaan helposti havaita lyhyen tai pitkän aikavälin poikkeamat sekä ryhtyä selvittämään niiden syitä. Samalla luodaan edellytykset erilaisten tehostamis- ja säästötoimenpiteiden ja -investointien vaikuttavuuden arvioinnille. Kuvassa 25 on tyypillinen kuukausikulutuksiin perustuva graafinen esitys erään ammatillisen oppilaitoksen kulutuskehityksestä vuosina 2002–2005. Erityisesti sähkönkulutuksen jatkuva kasvu on helposti nähtävissä. Kulutuksen kasvun syynä voi olla esim. lisääntynyt käyttö ja ilmanvaihto. Oleellista on, että syyt kasvaneeseen kulutukseen selvitetään ja mahdollinen tarpeeton kulutus eliminoidaan.



Kuva 25. Tyypillinen kuukausikulutuksiin perustuva kulutuskehityksen graafinen esitys.

Tarveselvitys ja hanke-suunnittelu	Suunnittelu	Toteutus-suunnittelu	Rakentaminen	Toimintakokeet, säädöt ja luovutus	Käyttö ja ylläpito
------------------------------------	-------------	----------------------	--------------	------------------------------------	--------------------

Toteutuneen ja laskennallisen kulutuksen vertailu

Useimmille rakennuksille, myös olemassa oleville, tehdään lähitulevaisuudessa ns. *energiatodistus vuoden 2008 alussa voimaantulevan lainsäädännön mukaisesti*. Energiatodistusta voidaan käyttää apuna rakennuksen energiatehokkuuden arvioinnissa ja tehokkuuden parantamiseen tähtäävässä toiminnassa. Uudisrakennuksille tehdään laskennallinen tarkastelu, jossa määritetään myös, kuinka paljon rakennuksen arvioidaan kuluttavan ostettavaa lämpö- ja sähköenergiaa. Laskennallista kulutusta voidaan verrata todelliseen energiankulutukseen ja osoittaa mahdolliset energiankäytön tehostamistarpeet.

Kun laskennallinen kulutustavoite on käytettävissä, on toteutunutta energiankulutusta syytä verrata jo heti käyttöönoton jälkeen myös laskennalliseen kulutukseen. Edellytyksenä on tietysti, että laskelmat on tehty niillä oletuksilla, joilla rakennusta ensimmäisenä vuotena käytetään. Kuvassa 26 on erään v. 2003 valmistuneen rakennuksen toteutuneet kulutukset ja suunnittelutietojen perusteella laskettu rakennuksen tavoitekulutus. Ensimmäisen vuoden keväällä kulutukset on saatu ”viritysvaiheen” säätöjen ym. avulla asettumaan tavoitellulle tasolle mutta vuonna 2006 on lämmönkulutus kohonnut n. 30 % ja sähkönkäyttökin lähtenyt merkittävään kasvuun. Syyt tällaiseen energiankulutuksen lisääntymiseen tulisi selvittää jo heti ensimmäisten muutosten jälkeen.

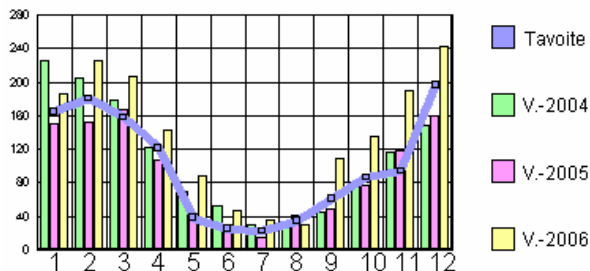
Aluksi laskennallinen ja mitattu energiankulutus voivat olla kaukana toisistaan, sillä laskennassa on monta epävarmuustekijää, jotka pitää ottaa huomioon ennen lopullisten johtopäätösten tekemistä. Epävarmuutta aiheuttavat mm.

- ilmanvaihtomäärät, jos on muuttuva tilavuusvirta
- laitteiden todelliset hyötysuhteet ko. käyttötilanteessa (LTO, puhaltimet, pumput)
- rakennuksen käyttöajat, tavat ja käyttäjämäärä
- sisäiset energiat mittausten mukaan
- laskennassa käytetyt mitat (sisä-, ulko- vai kokonaissisämitat)
- sääkorjausten teko
- veden kulutus.

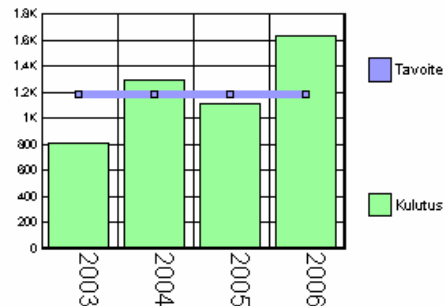
Tarveselvitys ja hanke-suunnittelu	Suunnittelu	Toteutus-suunnittelu	Rakentaminen	Toimintakokeet, säädöt ja luovutus	Käyttö ja ylläpito
------------------------------------	-------------	----------------------	--------------	------------------------------------	--------------------

JYV00001 Pilot-Rakennus

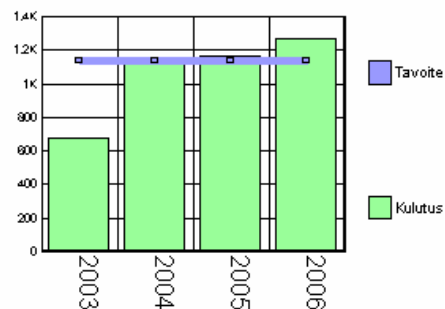
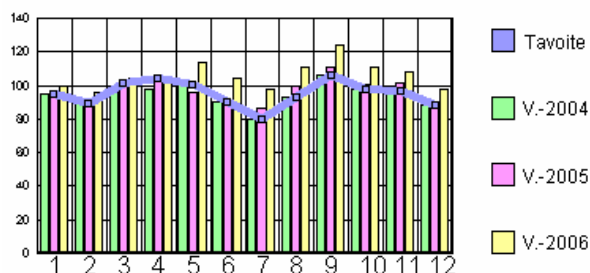
Lämmön sääkorjattu kk-kulutus (MWh)



Vuosikulutus



Sähkö (MWh)



Kuva 26. Esimerkki tavoitekulutusten ja toteutuneiden kulutusten vertailusta.

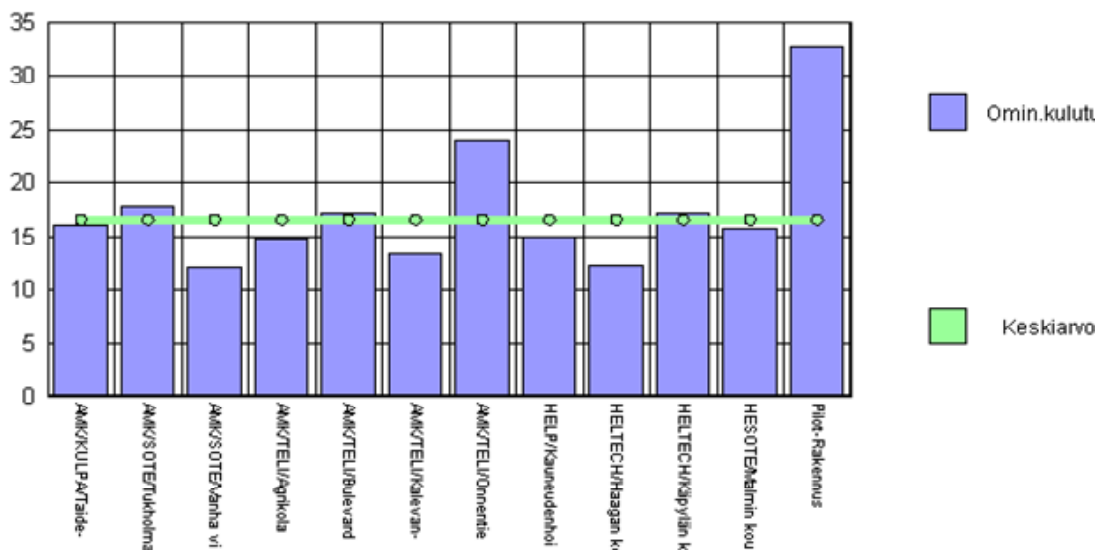
Rakennuksen energiankulutusmallia tulee päivittää sitä mukaa kuin saadaan uutta tietoa rakennuksen todellisesta käytöstä. Erityistä tarkkuutta pitää noudattaa, kun arvioidaan rakennuksen ilmanvaihtomääriä, sisäisiä lämpökuormia ja tiiviyttä, sillä kaikilla näillä voidaan helposti selittää mahdollinen ero mitatun ja laskennallisen energiankulutuksen välillä. Herkkyystarkastelu auttaa arvioimaan energiankulutuksen mahdollista vaihtelua. Sen tekemiseen voidaan useimmissa kohteissa käyttää yksinkertaisia laskentamenetelmiä (ks. esimerkki liitteessä I). Laajoissa ja monimutkaisissa hankkeissa on suunnittelun yhteydessä perusteltua käyttää ”raskaampia” verraten paljon työtä ja kustannuksia vaativia simulointimalleja, joiden avulla rakennusta ja sen toimintoja pyritään jäljittelemään mahdollisimman tarkasti. Olemassa olevissa rakennuksissa simulointimallien käyttö ei poikkeustapauksia lukuun ottamatta ole kuitenkaan mahdollista. Ainakin aluksi kannattaakin kaikissa kohteissa mahdollisia hajontoja haarukoida yksinkertaisella menetelmällä ja sen jälkeen yrittää etsiä tärkeimmäksi osoittautuneiden muuttujien vaikutusta simulointimallilla, jos sellainen on käytettävissä.

Tarveselvitys ja hanke-suunnittelu	Suunnittelu	Toteutus-suunnittelu	Rakentaminen	Toimintakokeet, säädöt ja luovutus	Käyttö ja ylläpito
------------------------------------	-------------	----------------------	--------------	------------------------------------	--------------------

Vertaisanalyysin hyödyntäminen

Omien kulutustietojen vertailu muihin vastaaventyypisiin ja -ikäisiin rakennuksiin antaa viitteitä siitä, onko rakennuksen energiatehokkuus oikealla tasolla. Esim. koko rakennukselle laskettujen ominaiskulutuslukujen (kWh/m^2 , kWh/m^3 , kWh/suorite) avulla voidaan vertailla energiatehokkuutta sekä osoittaa ne kohteet, joiden tarkempi analysointi (esim. energiakatselmuksen avulla) on perusteltua. Kuvassa 27 on esimerkki eräiden ammatillisten oppilaitosten sähkön ominaiskulutusten vertailusta. Kohteissa, joissa ominaiskulutus on jopa kaksinkertainen keskiarvoon verrattuna, tulisi tehdä sähkönkäytön tarkempi analyysi sen selvittämiseksi, mistä korkea kulutustaso johtuu ja millä toimenpiteillä sähkönkäyttöä voitaisiin tehostaa.

Ammattikoulut – Sähkön kulutus (kWh/m^3), v. 2006



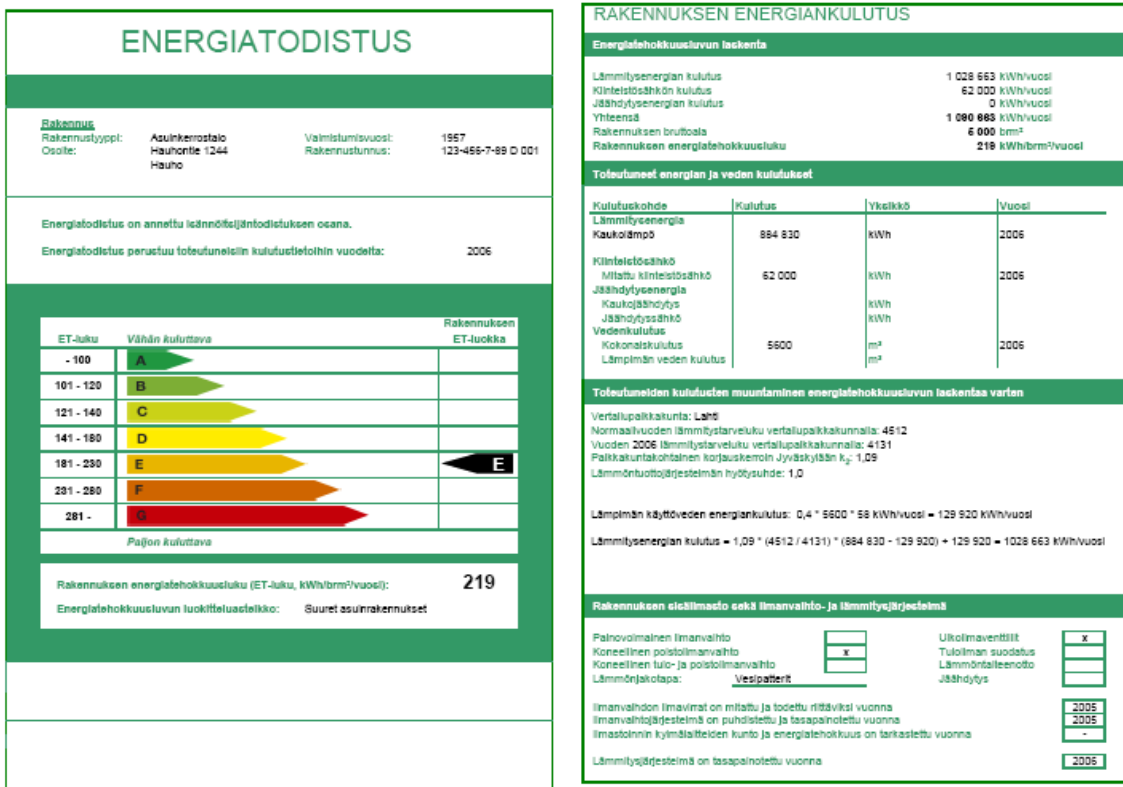
Kuva 27. Sähköenergian ominaiskulutus (kWh/m^3) eräissä ammatikouluissa.

Vuonna 2008 voimaan tulevan lainsäädännön mukaan olemassa olevien rakennusten energiatodistus tulee pääsääntöisesti perustumaan myös eräänlaiseen benchmarkaukseen. Todistus voidaan tehdä toteutuneiden kulutuslukujen perusteella laskemalla vuotuinen lämmön ja kiinteistösähkön kulutus bruttoalaa kohti ja vertaamalla sitä asetuksessa annettuun ko. rakennustyyppin tehokkuusluokitukseen. Energiatodistusta koskevassa asetuksessa todetaan mm: ”Rakennuksen energiatehokkuus ilmaistaan tässä asetuksessa säädetyllä tavalla rakennuksen energiatehokkuusluvulla, joka saadaan jakamalla rakennuksen tarvitsema vuotuinen energiamäärä rakennuksen bruttopinta-alalla. Energiatodistuksessa käytetään tämän asetuksen liitteessä 1 esitettyjä rakennustyyppikohtaisia

Tarveselvitys ja hanke-suunnittelu	Suunnittelu	Toteutus-suunnittelu	Rakentaminen	Toimintakokeet, säädöt ja luovutus	Käyttö ja ylläpito
------------------------------------	-------------	----------------------	--------------	------------------------------------	--------------------

energiatodistuksen luokittelustaikkoja. Luokittelustaikko määräytyy rakennuksen käyttötarkoituksen perusteella liitteessä 1 esitetyllä tavalla.” (Asetus rakennuksen energiatodistuksesta 765/2007 1 §).

Olemassa oleville asuinrakennuksille energiatodistus voidaan antaa mm. isännöitsijätodistuksen liitteenä ja kuvassa 28 esitetty em. asetuksessa annettu tällaisen todistuksen malli. Todistus voidaan antaa myös energiakatselmuksen yhteydessä tai erikseen tehtävän tarkastuksen perusteella.



Kuva 28. Isännöitsijätodistukseen sisältyvän energiatodistuksen malli (Ympäristöministeriön asetus rakennuksen energiatodistuksesta 765/2007)

Suuret rakennusten omistajat (kunnat, valtio, yritykset) voivat myös itse tuottaa em. tyyppisessä vertaisanalyysissä tarvittavat tiedot oman kulutusseurannan avulla. Energiatodistuksen yleistäminen tuleekin lähivuosina tarjoamaan ko. tyyppistä vertailutietoa yleiseen käyttöön laajemminkin, ja esim. kuntien rakennuksille sitä on jo nyt saatavissa mm. yleisten Internet-palvelujen kautta (<http://e3portal.vtt.fi>, www.kunnat.net).

Kuvassa 29 on esitetty esimerkinomaisesti yhteenveto erään kunnan koulujen energiatehokkuudesta em. asetuksessa annetun luokitteluasteikon mukaisesti. Kun kulutusseuranta ja perustiedot on kunnolla hallinnassa saadaan ko. tyyppisellä vertaisanalyysillä (benchmarkauksella) nopeasti yleiskuva energiatehokkuuden vaihtelusta laajassakin kiinteistösalkussa. Sen perusteella voidaan energiatehokkuuteen liittyvät jatkoselvitykset ja parannustoimet kohdentaa oikein ja seurata myös niiden vaikuttavuutta – energiatehokkuuden parantumisenhan tulisi näkyä myös todistuksen ja luokituksen muutoksina.

Energian ominaiskulutukset (kWh/m2) ja energiamerkintä - Koulut

Kiinteistö	Tilavuus	Lämpö	Sähkö	Energia	Energia merkintä
KOULU 1	21446	260	59	320.0	F
KOULU 10	17363	261	46	308.6	F
KOULU 11	14020	208	56	265.0	E
KOULU 12	28173	230	54	285.3	E
KOULU 13	15566	182	53	235.9	E
KOULU 14	18983	263	43	306.8	F
KOULU 15	30922	132	59	192.6	D
KOULU 16	15320	105	40	146.3	B
KOULU 17	13057	176	51	228.1	D
KOULU 18	25160	268	49	317.3	F
KOULU 19	11889	235	96	331.5	F
KOULU 2	21377	187	68	256.1	E
KOULU 20	21638	136	60	197.5	D
KOULU 21	15650	184	101	285.7	E
KOULU 22	13778	85	28	113.8	A
KOULU 3	23402	111	33	145.7	B

YHTEENVETO:

Kiinteistöjä (kpl)	(%)	Tilavuus (m3)	(%)	
A	1	4	13778	3
B	3	13	55348	13
D	4	18	77430	19
E	6	27	111332	27
F	8	36	145056	35

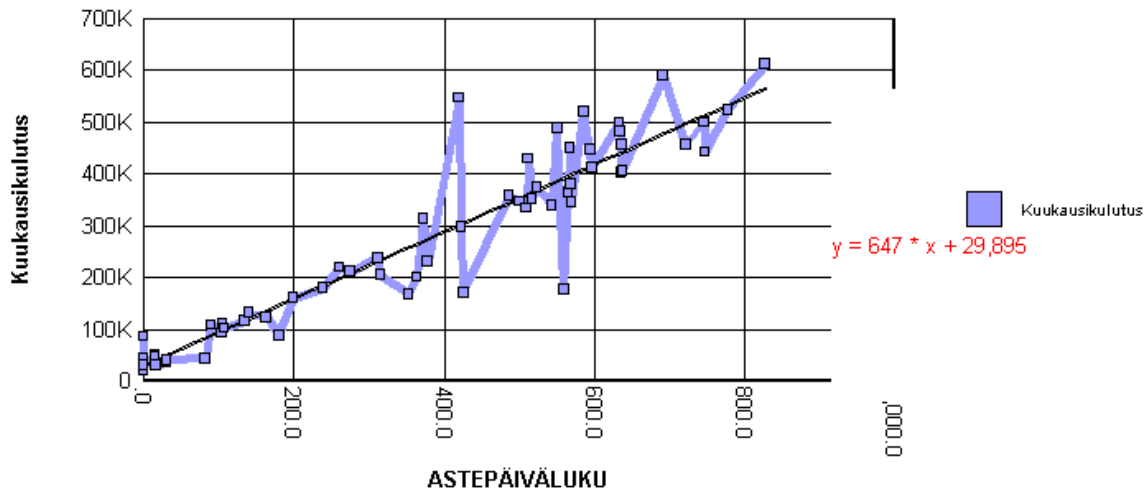
Kuva 29. Erään koulujoukon energiatehokkuus-luokittelu (<http://e3portal.vtt.fi>).

Poikkeusseuranta ja vikadiagnostiikka

Energiankulutuksen vaihtelu rakennuksen eri osien välillä ja eri aikoina voi antaa vihjeitä siitä, missä mahdollinen laskennallista suuremman energiankulutuksen aiheuttaja on. Rakennusautomaatiojärjestelmän käyttöraportissa tulisi olla asianmukaisia graafeja, kuten kuukausikohtaisen lämmitysenergian ja astepäiväluvun tai keskilämpötilan välinen regressiosuora, jolloin voidaan verrata esimerkiksi kuukausikohtaisia eroja kulutuksen

Tarveselvitys ja hanke-suunnittelu	Suunnittelu	Toteutus-suunnittelu	Rakentaminen	Toimintakokeet, säädöt ja luovutus	Käyttö ja ylläpito
------------------------------------	-------------	----------------------	--------------	------------------------------------	--------------------

välillä ja pohjakulutusta (lämmin käyttövesi), jolloin selvät poikkeamat keskikulutuksesta voidaan havaita ja pyrkiä selvittämään poikkeaman aiheuttaneet tekijät. Kuvassa 30 nähdään, että lämmönkulutus on suunnilleen yhtä kylminä kuukausina vaihdellut huomattavasti (yli 100 %), mikä voi viitata esim. säätöjärjestelmän vikaantumiseen.



Kuva 30. Esimerkki lämmitysenergian kulutuksen (kWh) ulkolämpötilariippuvuudesta.

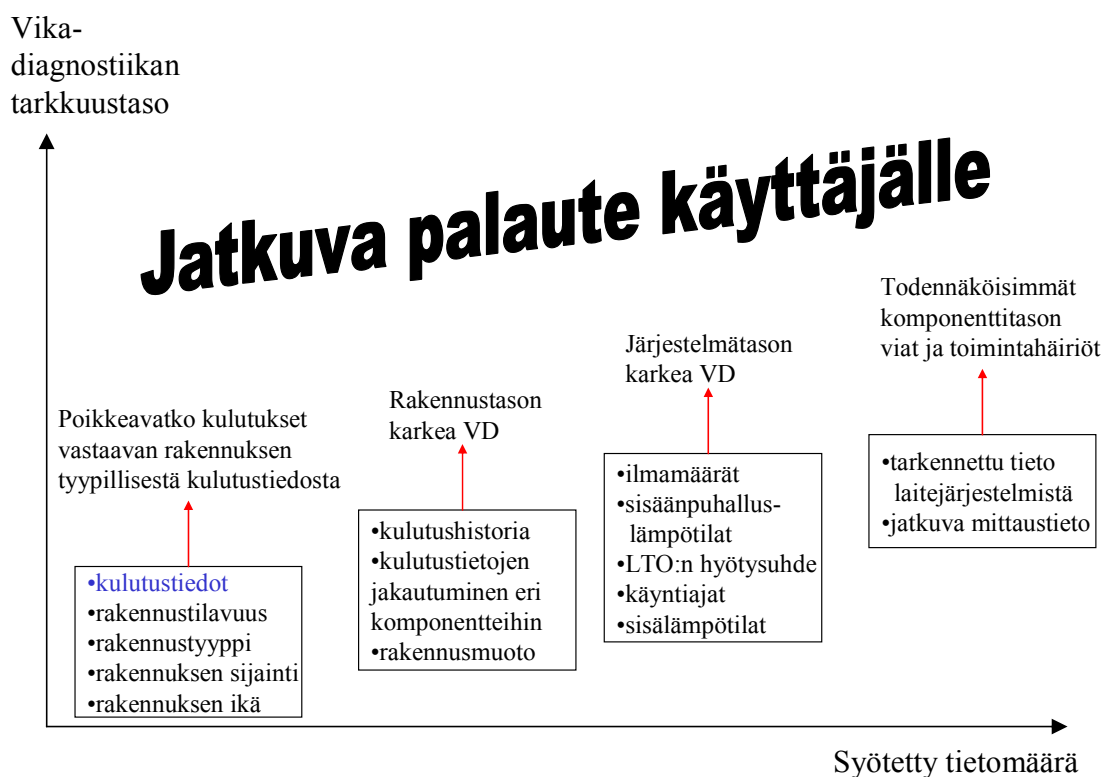
Energian ja veden kulutusseuranta on yksi valvontajärjestelmän tärkeimmistä hyötykäytöistä. Menekkiseurannassa mittarit luetaan kiinteistövalvonnan kautta automaattisesti, jolloin kiinteistöhoitajan on helppo hallita energian- ja vedenkäyttöä. Esimerkiksi lämpöenergian seurantaan voidaan tehdä erilaisia ohjelmia, jotka laskevat kulutusarvion vuositasolla. Ohjelmat voivat sisältää myös opastusta kulutustavoitteiden saavuttamiseksi.

Vikadiagnostiikkamenetelmät (Paiho et al. 2000) 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 tai energiankulutuksen seuranta voidaan pitää vian havaitsemismenetelminä. Vian syyn ja paikan määrittämiseen käytetään vian paikallistamismenetelmiä (tai vikadiagnoosimenetelmiä).

Rakennusmassaan kohdistuvaan jatkuvaan ToVa-toimintaan soveltuvat hyvin vikadiagnostiikkamenetelmät, jotka tarvitsevat suhteellisen karkeaa tietoa rakennuksesta ja sen toiminnasta (Paiho et al. 2004). Tällöin esimerkiksi kulutusseurantatiedoista havaitaan rakennuksen ja sen järjestelmien virheellinen toiminta. Ensimmäinen diagnoosi mahdollisesti poikkeavasta toiminnasta saadaan hyvin rajallisella määrällä lähtötietoja. Vika-

Tarveselvitys ja hanke-suunnittelu	Suunnittelu	Toteutus-suunnittelu	Rakentaminen	Toimintakokeet, säädöt ja luovutus	Käyttö ja ylläpito
------------------------------------	-------------	----------------------	--------------	------------------------------------	--------------------

diagnoosin tarkkuus paranee vaiheittain, kun syötettävä tietomäärä kasvaa. Tällöin myös järjestelmän käyttötarkoitus ja käyttäjäryhmä muuttuvat, kun yksityiskohtainen tieto on suunnattu yksittäisen rakennuksen kiinteistöhoitajille. Kuvassa 31 esitetään tällaiseen jatkuvaan ToVa-toimintaan soveltuvan järjestelmän toimintaperiaate. Järjestelmä antaa jatkuvaa ohjeellista palautetta kiinteistöhoito-organisaatiolle tai muulle käyttäjälle. Käyttäjän lisäksi tietoa rakennuksesta ja sen järjestelmästä voidaan saada esimerkiksi rakennusrekisteristä, energiankulutuslaskennasta tai rakennusautomaatiojärjestelmän keräämänä.



Kuva 31. Tarkentuvan vikadiagnostiikan (VD) periaate (Paiho et al. 2004).

Vikadiagnostiikkamenetelmistä voidaan tehdä automatisoituja versioita, jotka voidaan liittää osaksi rakennusautomaatiojärjestelmää tai jotka voivat toimia itsenäisesti rakennusautomaatiojärjestelmän rinnalla hyödyntäen sen keräämää mittaus- yms. tietoa (Paiho et al. 2000). Jälkimmäisessä tapauksessa vikadiagnostiikkasovellus voi toimia esimerkiksi Internetissä (Paiho et al. 2004).

Tarveselvitys ja hanke-suunnittelu	Suunnittelu	Toteutus-suunnittelu	Rakentaminen	Toimintakokeet, säädöt ja luovutus	Käyttö ja ylläpito
------------------------------------	-------------	----------------------	--------------	------------------------------------	--------------------

4.6.4 Käyttäjäpalaute ja järjestelmien jatkuva varmistaminen

Jatkuva toimivuuden varmistaminen vaatii rakennuksen ja sen teknisten järjestelmien tarkkailun lisäksi myös palautetta käyttäjiltä ja heidän tyytyväisyytensä arviointia. Heti käyttöönoton jälkeen käyttäjät alkavat arvioida yksilöllisesti rakennuksen toimivuutta ja sen puutteita. Kaikkia käyttäjiä saadaan tuskin koskaan täysin tyytyväiseksi kaikkien ominaisuuksien suhteen, koska käyttäjissä on eroja. Toisaalta yksilöllisyys vaatimusten suhteen tulisi ottaa huomioon mahdollisimman hyvin. Esimerkiksi ”vedon” kokeminen uusissa ja peruskorjatuissa rakennuksissa on edelleen turhan yleistä.

Kaikkien yhteinen etu on, että käyttäjiltä kerätään palautteita ja hyödynnetään niitä systemaattisella tavalla. Samalla on syytä vielä kertaalleen tarkistaa hankkeelle alun perin asetetut tavoitteet ja niiden toteutuminen sekä kirjata ylös mahdolliset poikkeamat ja niiden syyt. Käyttäjäkyselyn avulla (eräs esimerkki liitteessä F) valitukset voidaan kohdentaa ja voidaan tarkistaa, onko kyse jonkin järjestelmän osan mahdollisesta puutteellisesta toiminnasta vai yksittäistä tilaa koskevasta valituksesta. Käyttäjäpalautteen keräämiseksi on myös lisääntyvässä määrin käytettävissä interaktiivisia huoltokirjoja tms. järjestelmiä, joilla käyttäjät voivat vaivattomasti ilmoittaa havaitsemistaan puutteista ylläpito-organisaatiolle. Vastaavasti he saavat esim. sähköpostilla tiedon, kun virhe tai puute on korjattu.

Järjestelmien jatkuvaan varmistamiseen liittyvät seuraavat seikat:

- Seuraa käyttäjien tyytyväisyyttä ja korjaa epäkohdat.
- Seuraa käyttöraportteja ja reagoi niiden poikkeamiin verrattuna tavoitearvoihin tai rakennustyyppin ”normiarvoihin”.
- Tee säännöllisesti toimivuuden varmistamisen manuaaliset mittaukset, esim. 2 vuoden välein kohdistettuja mittauksia.
- Tarkista toteutuksen riskipaikat (esim. kosteustilan kartoitus) säännöllisesti esim. 3 kk, 6 kk, 1 v, 2 v, 3 v, 5 v.
- Varmista, että huoltokirjaa käytetään ja päivitetään.
- Tarkista käyttöhenkilöstön koulutustarve säännöllisesti.
- Hyödynnä rakennusautomaatiosta saatavia raportteja.
- Huolehdi puutteiden ja epäkohtien nopeista korjauksista.

Tarveselvitys ja hanke-suunnittelu	Suunnittelu	Toteutus-suunnittelu	Rakentaminen	Toimintakokeet, säädöt ja luovutus	Käyttö ja ylläpito
------------------------------------	-------------	----------------------	--------------	------------------------------------	--------------------

Rakenteet

Käyttäjäkyselyillä selvitetään käyttäjien käsitys lämmitys- ja ilmanvaihtojärjestelmien asianmukaisesta toiminnasta. Tarvittaessa tehdään säätöjä. Mikäli rakennuksessa esiintyy vetohaittoja tai kylmiä pintoja, toteutetaan kaksivaiheinen lämpökuvaus ja tarvittaessa vetomittauksia. Mikäli rakennuksen vaipan lämpöteknisen toimivuuden mittauksia ei ole voitu tehdä sääolosuhteiden takia, mittaukset on tehtävä viimeistään tässä vaiheessa. Käyttäjäkysely voidaan uusina esimerkiksi 2–3 vuoden kuluttua.

Ilmastointi

Huolto-ohjelmien edellyttämien normaalien toimenpiteiden lisäksi **ToVa-käyntien** yhteydessä käydään pistokokeina läpi samoja asioita kuin luovutus- ja käyttöönotto-vaiheessa. Käyttäjäpalaute voi lisäksi antaa aihetta mm. seuraaviin tarkastuksiin:

- laitteiden aistinvarainen tarkastus
 - puhtaus
- sisäilmaston toimivuuteen vaikuttavien tekijöiden mittaus huoneissa
 - tulo- ja poistoilmamäärät (normaali- ja tehostustilanne)
 - ilman lämpötila ja suhteellinen kosteus
 - pintalämpötilat
 - veto
 - paine-ero ulko- ja sisäilman välillä
 - äänenpainetaso
 - sisäilman laatu (pöly, mineraalikuidut, kemialliset mittaukset aikaisintaan puolen vuoden päästä)
- energiankäyttöön vaikuttavien tekijöiden tarkastus
 - ilmastointikoneiden ja erillispoistojen ilmavirran mittaus
 - ilmastointikoneiden ominaissähkötehon määrittäminen
 - ilmastointikoneiden lämpötilojen mittaus (LTO:n hyötysuhde)
 - jäteilmojen lämpötilan mittaus
 - lämpötilojen asetusarvot: tuloilma, LTO:n jäätymissuojaus
 - ohjausten ja käyntiaikojen tarkastus
 - lämmitysverkoston lämpötilat.

Tarveselvitys ja hanke-suunnittelu	Suunnittelu	Toteutus-suunnittelu	Rakentaminen	Toimintakokeet, säädöt ja luovutus	Käyttö ja ylläpito
------------------------------------	-------------	----------------------	--------------	------------------------------------	--------------------

Vesi- ja viemärointi

Vesijärjestelmän toimivuuden varmistaminen käytön aikana tarkoittaa yleensä järjestelmän vesitiiviyyden valvontaa sekä todettavien vuotojen paikantamista ja korjaamista. Järjestelmän todellisen käyttöiän lopun lähestyminen todetaan yleensä tihentynään vuotojen ilmenemisenä. Vesijärjestelmän tiivisteet ovat huoltotarvikkeita, ja tiivisteiden käyttöikä on yleensä paljon lyhyempi kuin vesijärjestelmän käyttöikä. Vesivuodot ja tiivistevuodot voidaan todeta vedenkulutusmittauksen avulla 0-kulutuksessa. Lisäksi tiiveysmittauksia varten on kehitetty uusia nopeita menetelmiä, joilla mahdolliset vuodot voidaan paikallistaa helposti (Halmekytö, 2006).

Vesikalusteiden sihdit vaativat puhdistusta määräajoin, mikä voidaan todeta kalusteen vesivirtauksen muuttumisesta. Viemärijärjestelmän toimivuuden varmistaminen on lähinnä tukkeutumisen toteamista. Tukkeutumisen eteneminen voidaan todeta käyttökokeella, jossa viemärijärjestelmää kuormitetaan runsaalla vesimäärällä. Yksittäisten viemärointipisteiden yhteydessä olevat vesilukot ovat huoltokohteita, jotka vaativat puhdistusta määrävällein, joiden pituus riippuu käytöstä. Viemäreiden vesilukkojen täyttäminen vedellä määrävällein saattaa olla tarpeen hajuhaittojen estämiseksi tiloissa, joiden käyttö on vähäistä.

Viemärijärjestelmien kuntoa voidaan tarkistaa viemäreiden kamerakuvauksin. Hanojen virtaamia voidaan mitata ja vesijärjestelmän kokonaispainetta tarkistaa aika ajoin.

Sähkö ja valaistus

ToVa-käyntien yhteydessä käydään pistokokein läpi osittain samoja asioita kuin rakentamis-, luovutus- ja käyttöönottovaiheessa. Seuraavassa luetellaan tärkeimmät tarkastuskohteet:

- sähköasennusten ja -laitteiden silmämääräinen tarkastus
 - sähköturvallisuuteen liittyvät tarkistukset
- loistehon kompensointi
 - sähkötariffin sopivuus ja mahdollisten loistehomaksujen osuus
 - loistehon kompensointilaitteiston toimivuus
 - mahdollinen tarveselvitys loistehon kompensoinnille
- valaistusjärjestelmien toiminta
 - tavoitteiden mukaiset valaistusolosuhteet
 - valaistushuollon tarpeen arviointi
 - valaistuksen ohjausjärjestelmien toimivuuden varmistus

Tarveselvitys ja hanke-suunnittelu	Suunnittelu	Toteutus-suunnittelu	Rakentaminen	Toimintakokeet, säädöt ja luovutus	Käyttö ja ylläpito
------------------------------------	-------------	----------------------	--------------	------------------------------------	--------------------

- sähkökäytön energiatehokkuus
 - toimistolaitteiden energiansäästöasetukset asetettu vastaamaan laitteiden käyttöprofiilia
 - käyttöhenkilökuntaa opastettu käyttö- ja huoltokytkimistä (esim. keittiön lämpölaitteiden pääkytkin, ilmastoinnin ja valaistuksen lisäaikakytkimet)
 - sähkösaatto- ja lattialämmitysten ohjausten tarpeenmukaisen toiminnan varmistus.

Rakennusautomaatio

Kiinteistön rakennusautomaatiojärjestelmän edellytetään toimivan itsenäisesti ja luotettavasti koko järjestelmän elinkaaren ajan. Tämä edellyttää, että suunnitellulla tavalla toimivan automaatiojärjestelmän toimintoja on testattava ja huollettava systemaattisesti noudattaen kirjallista suunnitelmaa.

Säännölliselle jatkuvalla toimivuuden varmistamiselle asetetut tavoitteet käydään läpi ja hyväksytään yhdessä asiakkaan kanssa ToVa-katselmuksessa. Katselmuksessa varmistetaan järjestelmän testien ja huoltojen osalta ainakin seuraavat asiat:

- Järjestelmän toimintoja testataan ja huolletaan määrävälein.
- Järjestelmän toiminnoille on laadittu kirjallinen testi- ja huolto-ohjelma.
- Laitteiden toimintaa ja kuntoa tarkkaillaan jatkuvasti määrävälein kentällä silmämääräisesti.
- Järjestelmän käynnistyminen sähkökatkon jälkeen tarkistetaan määrävälein.
- Palo- ja murtohälytykset tarkistetaan määrävälein.
- Muut erittäin kiireelliset hälytykset tarkistetaan määrävälein.
- Hälytysten edelleen annot tarkistetaan määrävälein.
- Toiminnan kannalta keskeisten mittausten lukemat ja anturit kalibroidaan määrävälein.
- Säättöpiirien toiminta tarkistetaan kentältä sekä trendiseurannalla määrävälein.
- Kaikki järjestelmään liitetyt pisteet testataan ja näyttö tarkistetaan kentältä valvomoon ja päinvastoin kerran vuodessa.
- Automaatioon liitetyjä olosuhde- ja kulutusmittauksia seurataan ja niitä vertaillaan tavoitteisiin.
- Järjestelmien ja laitteiden toimivuudesta tehdään seurantamittaukset ja kerätään muutkin seurantatiedot.
- Poikkeamia ja hälytyksiä seurataan.

Rakennusautomaatiojärjestelmän ylläpitoon liittyviä ohjeistuksia esitetään ST-kortistossa (ST 712.10).

Tarveselvitys ja hanke-suunnittelu	Suunnittelu	Toteutus-suunnittelu	Rakentaminen	Toimintakokeet, säädöt ja luovutus	Käyttö ja ylläpito
------------------------------------	-------------	----------------------	--------------	------------------------------------	--------------------

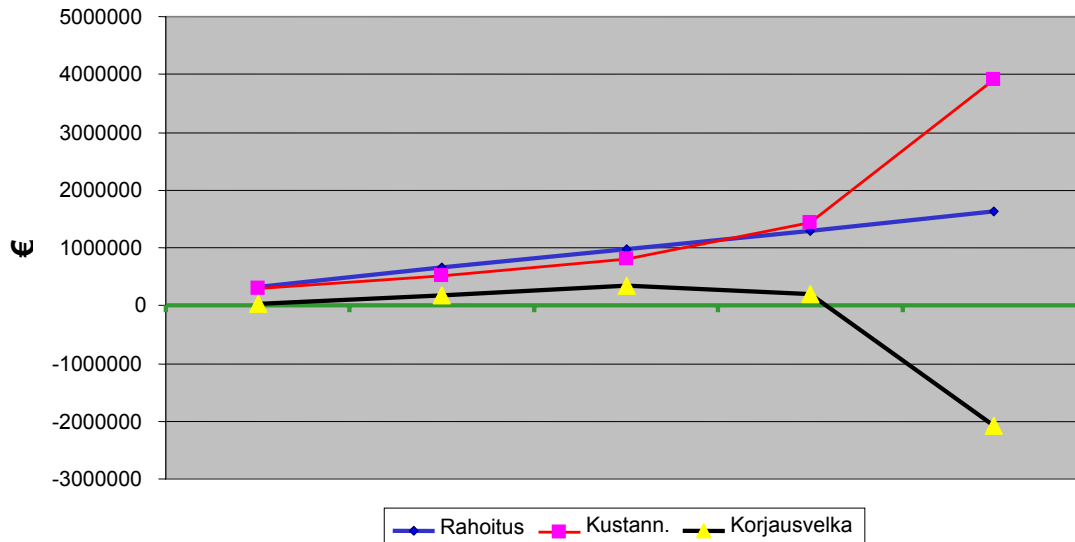
4.6.5 Varautuminen korjauksiin (korjausvelka, tilankäytön tehokkuus)

Käytönaikaisella toimivuuden varmistamismenettelyllä kiinteistön energiakustannukset ja olosuhteet pyritään pitämään hallinnassa. Peruskorjattavassa ja vanhassa kohteessa varmistusmenettelyllä sekä muilla toimenpiteillä, kuten energiakatselmuksen ja kuntoarvion tai kuntotutkimuksen avulla, voidaan todentaa rakennuksen kunto ja energiansäästöpotentiaali. Näiden toimenpiteiden perusteella voidaan määrittää rakennuksen korjaustarve.

Korjaustarve syntyy pääosin muista kuin pelkästään energiataloudellisista syistä. Rakennuksen tai sen osien käyttötarkoitus tulee muuttumaan, rakennuksen käyttöprofiili muuttuu, rakennuksessa on kosteus- tai muita vaurioita, tai sen sisäilma- ja lämpöolosuhteet eivät ole tyydyttäviä. Huoltokirjan tulee sisältää lyhyen ja pitkän tähtäimen korjaustoimenpiteet. Mikäli käytettävissä olevan budjetin puitteissa ei pystytä toteuttamaan suunniteltuja korjaustoimenpiteitä tai joudutaan valitsemaan investointikustannuksiltaan edullisempi mutta elinkaarikustannuksiltaan kalliimpi ratkaisu, voidaan joutua tilanteeseen, jossa rakennuksen toimivuus ja kunto eivät enää vastaa käyttäjien tarpeita.

Korjausvelalla tarkoitetaan ohjelmoituihin korjauksiin suunnitellun rahoitustarpeen ja toteutuneiden kustannusten välistä erotusta. Jos korjaustoimenpiteitä ei tehdä suunnitellusti, korjausvelka alkaa kasvaa. Korjausten siirtäminen tulevaisuuteen lisää niiden laajuutta ja perusteellisuutta, ja riski kustannuspuitteen ylitykselle kasvaa edelleenkin. Kuvan 32 esittämässä tapauksessa suunnittelukauden neljänä ensimmäisenä vuonna rahoitus on ollut kustannuksia suurempi, jolloin on syntynyt korjauskatetta. Viidentenä vuonna kate on kuitenkin käytetty ja on syntynyt jo merkittävä kustannusten alijäämä eli korjausvelka.

Tarveselvitys ja hanke-suunnittelu	Suunnittelu	Toteutus-suunnittelu	Rakentaminen	Toimintakokeet, säädöt ja luovutus	Käyttö ja ylläpito
------------------------------------	-------------	----------------------	--------------	------------------------------------	--------------------



Kuva 32. Suunniteltu rahoitustarve ja toteutuneet korjauskustannukset (Hekkanen 2005).

Pääosa esimerkiksi kuntien peruskorjauksista johtuu käyttötarkoituksen muutoksista, tilajärjestelyistä ja epätydyttävistä sisäolosuhteista, jotka perustuvat käyttäjien valituksiin. Myös kosteus- ja homevauriot aiheuttavat korjaustarvetta. Ainakin osa kosteusvaurioista ja olosuhdevalituksista johtuu väärintoteutetuista energiansäästötoimista. Puhtaasti energiataloudellisista syistä ei useinkaan ryhdytä korjauksiin. Taloudellisesti edullisin hetki energiataloudellisten parannusten tekoon on muiden korjaustoimien yhteydessä, jolloin rakenteita ja järjestelmiä muutenkin korjataan.

Kouluissa opetusryhmien koko ja tilankäyttö vaihtelevat, mikä edellyttää tiettyä joustoa taloteknisiltä järjestelmiltä. Samoin hoitoalan rakennuksissa, kuten sairaaloissa, voi olla hyvinkin erilaisia toimintoja vierekkäisissä tiloissa. Liikerakennuksissa loppukäyttäjät voivat olla tarpeiltaan ja vaatimuksiltaan hyvinkin erilaisia ja käyttäjät saattavat vaihtua tiheään, jolloin järjestelmiin joudutaan tekemään toistuvasti muutoksia.

5. Sisäilmaston ja energiatehokkuuden toimivuuden varmistamisen menetelmiä

5.1 Energiatehokkuuden laskenta ja simulointimenetelmät

Rakennuksen energiatehokkuudella tarkoitetaan yleensä vertailukelpoista, ns. standardisoituun käyttöön perustuvaa energiankulutusta. Standardisoitu tarkoittaa sitä, että energiankulutukseen vaikuttavat tekijät (mm. sisäiset lämpöenergiat, ilmanvaihdon suuruus) on vakioitu. Standardisoitu energiankulutus voidaan laskea esim. lattiapinta-alaa tai rakennustilavuutta kohti ja kulutus voidaan normeerata vastaamaan keskimääräistä säätä. Standardisoitu kulutus voi olla myös pelkästään laskentaan pohjautuva tai sitten mittauksiin pohjautuva siten, että mittaustulos on normeerattu laskelmin vastaamaan tiettyä standardisoitua energiankäyttöä.

Energiankulutuksen tavoitetaso määritetään ensimmäisen kerran laskemalla. Laskentaan liittyy aina useita epävarmuustekijöitä, joista suurimpia ovat rakennuksen käytön arvioiminen (mm. ilmanvaihto ja käytönaikaiset sisäiset lämpöenergiat) ja joidenkin keskeisten lähtöparametrien määrittäminen (mm. käytettävät mitat [sisä- tai ulkomitat], rakennuksen tiiviys, kylmäsillat).

Energiatehokkuuden laskentamenetelmät voidaan jakaa kahteen pääryhmään:

1. kuukausittaiseen energiataseeseen perustuvat menetelmät (mm. ISO DIS 13790 ja RakMK D5)
2. simulointimenetelmät, joissa laskennan aika-askel on lyhyt, tyypillisesti yksi tunti. Suomessa käytettäviä kaupallisia simulointiohjelmia ovat mm. IDA-ICE ja RIUSKA, joilla on erilainen teoreettinen lähtökohta.

Kumpaankin ryhmään kuuluvilla menetelmillä on omat etunsa ja haittansa:

Energiataseeseen perustuvia laskentamenetelmiä on helppo käyttää, ja niiden lähtötiedot ovat vähäisemmät ja selkeämmät kuin simulointimenetelmissä (vrt. esim. Liite I). Haittapuolena on se, että niillä ei voi laskea sisälämpötiloja. Näin ollen kesäajan sisälämpötilojen ja yleensä myös jäähdytysenergian kulutuksen tarkastelu joudutaan tekemään erikseen jollain simulointiohjelmalla.

Simulointimenetelmien käyttö vaatii kokemusta. Niiden käytön yleistymisen esteenä on se, että laskenta maksaa sekä palkkakustannuksina että ohjelman hankinnan ja ylläpidon hintana. Laskennan vaatiman lähtötiedoston teko käsin on yleensä työlästä. Jos laskennan lähtötiedot saadaan pääosin suoraan arkkitehtipiirroksista, laskennan vaatima työ pienenee olennaisesti.

Simulointimallien käyttö lisää ns. spekulatiivisten parametrien (esim. rakennusmateriaalien ominaislämmöt, sisäpintojen lämmönsiirtokertoimet, pintojen absorptio-kerroimet, maanvaraisen lattian laskentamenetelmä) määrää. Simulointimallien etu on, että niillä saadaan lasketuksi jäähdytysenergia ja sisälämpötila. Simulointimallit ovat tehokkain työkalu termisen sisäilmaston arviointiin suunnitteluvaiheessa.

Rakennusten energiatehokkuus muodostuu useasta tekijästä, joista tilojen lämmityksen energiankulutus on yleensä suurin. Muita merkittäviä tekijöitä ovat mm. jäähdytys- ja valaistusenergia, taloussähkö ja talotekniikkajärjestelmien sähkönkulutus. Sekä energia-
tehokkuustavoitteiden asettaminen että energiatehokkuuden varmistaminen täytyy tehdä riittävän yksilöidysti jakamalla mm.

- lämmönkulutus (mahdollisuuksien mukaan) tilojen, käyttöveden ja ilmanvaihdon lämmityksen vaatimaan energiaan
- sähkönkulutus käyttösähköön (valaistus ja laitteet) ja LVI-sähkön kulutukseen (puhalltimet, pumput ja jäähdytys)
- jos rakennus on liitetty kaukojäähdytysverkkoon, myös kaukojäähdytyksen kulutus on selvitettävä erikseen.

Realiteetti, joka täytyy ottaa huomioon, on, että rakennuksen energiatehokkuuden laskentaan on yleensä käytössä tietty aika ja raha. Siksi laskentamenetelmän tulee olla tarkoitukseen sopiva, riittävän selkeä ja yksinkertainen sekä lähtötietojen antamisen että tulosten analysoimisen osalta, jotta laskenta pystytään tekemään huolellisesti käytössä olevan ajan ja rahan mukaan. Esimerkiksi Tanskassa energiatodistuksen laadintaan käytettävä aika on rajoitettu.

Rakennuksen energiatehokkuutta voidaan laskea useassa vaiheessa, luonnossuunnitteluvaiheen suunnitelmista käytössä olevan rakennukseen. Suunnittelun ja rakentamisen edetessä laskennan lähtötiedot tarkentuvat jatkuvasti. Siksi samasta rakennuksesta voi olla useita eri tason lähtötietoihin ja myös laskentaohjelmiin pohjautuvia malleja. Laskenta- ja mittaustulosten vertailussa on otettava huomioon kaikki malleihin mahdollisesti liittyvät erot.

Laskennan tulokset eivät voi olla tarkempia kuin lähtötiedot ovat. Siksi laskentamenetelmä tulee myös suhteuttaa käytössä oleviin lähtötietoihin. Simulointimallit vaativat huomattavasti yksityiskohtaisemmat lähtötiedot kuin energiataseeseen pohjautuvat laskentamenetelmät. Esim. seinien lämmönläpäisykerroimien (U-arvojen) sijasta simulointimalleissa täytyy kuvata seinärakenteet kerroksittain. U-arvojen laskennassa käytettävien parametrien lisäksi tarvitaan rakennusmateriaalien ominaislämmöt. Kuukauden keskimääräisten säätietojen asemasta simulointimalleissa tarvitaan tunneittaiset säätiedot. Lämmönsiirron laskennassa konvektio ja säteily erotetaan toisistaan. Lähtötietoina tar-

vitaan mm. pintojen absorptiokertoimet ja emissiviteetit ja sisäisten energioiden jakautuminen konvektioon ja säteilyyn.

Laskennan luotettavuus riippuu ensisijaisesti lähtötietojen luotettavuudesta. Kuvassa 33 on esimerkki erään koulurakennuksen mitatusta ja kolmella eri menetelmällä lasketusta lämmitysenergian kulutuksesta. Kaikki kolme laskentamenetelmää ovat tässä tapauksessa antaneet suunnilleen saman tuloksen.

Jäähdytysenergian kulutuksen laskenta on yleensä vaikeampaa ja epäluotettavampaa kuin lämmitysenergian kulutuksen laskenta. Tämä johtuu mm. siitä, että auringon säteilyn ja lämmön varastoitumisen laskenta vaikuttaa paljon tuloksiin ja näiden kummankin täsmällinen laskenta on vaikeaa. Kuvassa 34 on esimerkki erään koulurakennuksen kahdella menetelmällä lasketun ja mitatun jäähdytysenergian kulutuksen vertailusta.

Rakennuksen energiatehokkuuden laskennassa on kaksi pääosiota: rakennusfysikaalinen lämmityksen ja jäähdytyksen nettoenergiantarpeen laskenta ja teknisten järjestelmien energiankulutuksen (yleensä sähkönkulutuksen) ja lämpöhäviöiden laskenta. Tekniset järjestelmät lasketaan energiataseeseen perustuvissa menetelmissä yleensä vuosihyöty-suhteiden avulla. Simulointimalleihin rakennetaan yleensä järjestelmien teknistä toimintaa kuvaavat osamallit. Kuvassa 35 on esimerkki IDA-ohjelmaan rakennetusta Jyväskylän erään koulurakennuksen lämmitys- ja jäähdytysjärjestelmän mallista.

Ilmanvaihtojärjestelmän puhaltimet voivat kuluttaa paljon sähköä. Jos ilmanvaihtojärjestelmän toimintaa halutaan analysoida yksityiskohtaisesti, ilmanvaihtojärjestelmästä voidaan rakentaa malli, joka sisältää järjestelmän tärkeimmät komponentit, kuten kanaviston, puhaltimet, päätelaitteet ja säätöelimet. Kuvassa 36 on esimerkki erään koulurakennuksen ilmavaihtokanaviston mallista, jolla voitiin osoittaa aksiaalipuhaltimen joutuminen epästabiiilille käyttöalueelle.

Laskennassa käytettävä tilajako on mietittävä tarkoin. Yksi mahdollisuus on käyttää periaatetta, että rakennus lasketaan yhtenä tilana, jos siinä on yksi selkeä pääkäyttötapa (asunto, toimisto, liiketila). Esim. Tanskan tulevilla rakentamismääräyksissä on ohje, että mikäli rakennuksen lattiapinta-alasta yli 80 % on jossakin pääkäytössä, energiankulutus lasketaan tämän pääkäyttötarkoituksen mukaan. Energiataseeseen perustuvissa laskentamenetelmissä on mahdollisuus käyttää vyöhykejakoa esim. silloin, jos vyöhykkeiden sisäiset lämpöenergiat tai sisälämpötilojen asetuservot ovat selvästi erilaiset.

Eräissä simulointimalleissa (mm. ConsolisEnergy) rakennus on mahdollista jakaa kahteen osaan, esim. etelän ja pohjoisen puoleiseen vyöhykkeeseen. Tällaisella jaolla pystytään arvioimaan mm. kesäajan sisälämpötilat ja jäähdytystarve huomattavasti luotettavammin kuin yksihuonemallilla.

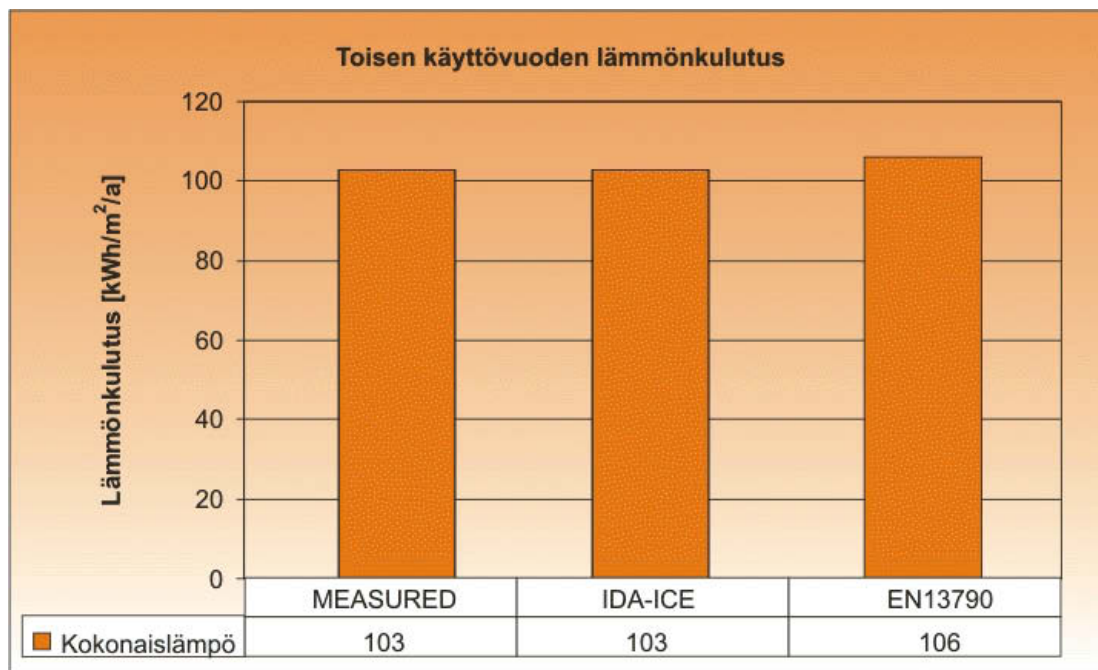
Energiatehokkuuden laskennan tulisi tuottaa samat suureet, jotka halutaan verifioida (esim. ostettava lämpö- ja sähköenergia jaettuina haluttuihin osiin, tilojen, ilmanvaihdon ja käyttöveden lämmitysenergia, jäähdytysenergia ja sähkönkulutuksen erittely koneittain tai vyöhykkeittäin).

Energiankulutus lasketaan yleensä standardisoidulle käytölle mm. sään ja sisäisten lämpöenergioiden suhteen. Toimivuuden varmistamista auttaa ja nopeuttaa se, että standardilaskelman lisäksi tehdään tiettyjä herkkyystarkasteluja mm. sään (lämmin tai kylmä vuosi), sisäisten lämpöenergioiden ja mahdollisten epävarmojen lähtötietojen suhteen (esim. lämmön talteenoton hyötysuhde).

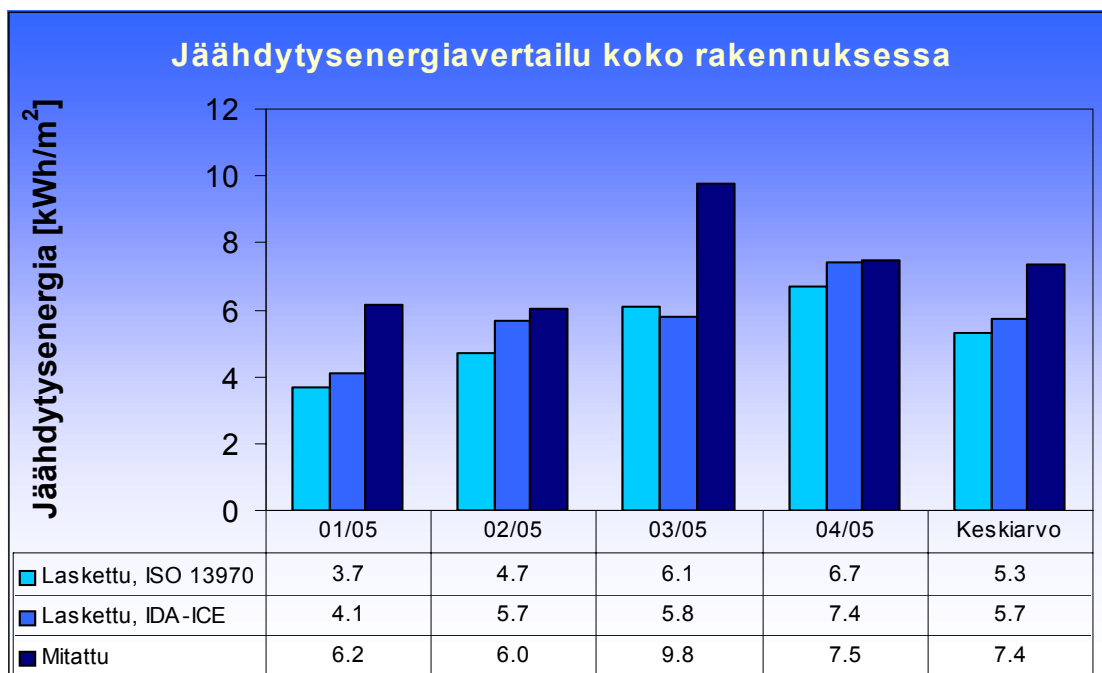
Jos rakennukselle on luvattu tietty sisäilmastoluokka, simulointimallin käyttö on ainoa mahdollisuus arvioida suunnitteluvaiheessa tavoitteiden toteutumista. Kuukausitason laskentamenetelmillä voidaan arvioida korkeintaan sisälämpötilan kuukausikeskiarvoja.

Sisälämpötilan kulku tietyssä tilassa noudattaa vuoden aikana pysyvyyskäyrää. Tietyn sisäilmastoluokan saavuttaminen vaatii, ettei sisälämpötila ylitä hyväksytyjä arvoja kuin tietyn ajan vuodesta. Siksi sisäilmastovaatimusten toteutumisen suunnittelu ja arviointi vaativat sisälämpötilojen pysyvyyskäyrien laskemista ja mittaamista.

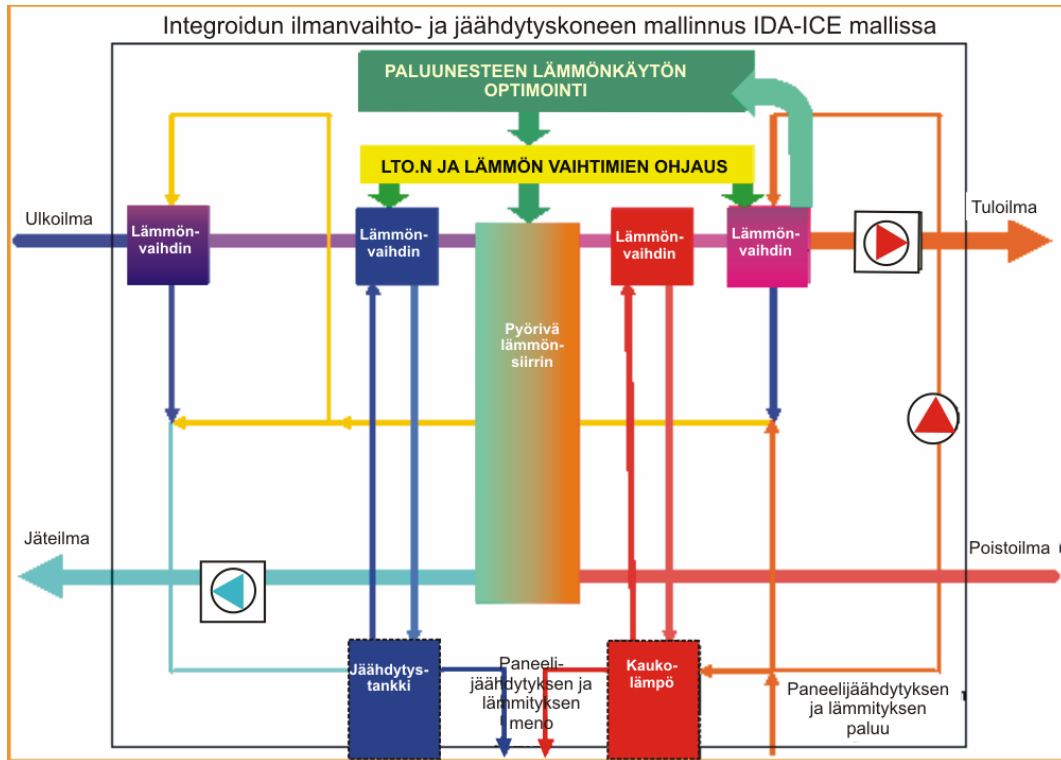
Lähteessä Kalema et al. (2006) esitetään energiankulutuksen laskentamallien käyttöä koulutusrakennuksen energiatehokkuuden varmistamisessa. Laskentamallien käyttö osoittaa ko. rakennuksessa sen, että koneellista ilmanvaihtoa on käytetty myös yöaikana, mikä on lisännyt sekä lämmön että sähkön kulutusta.



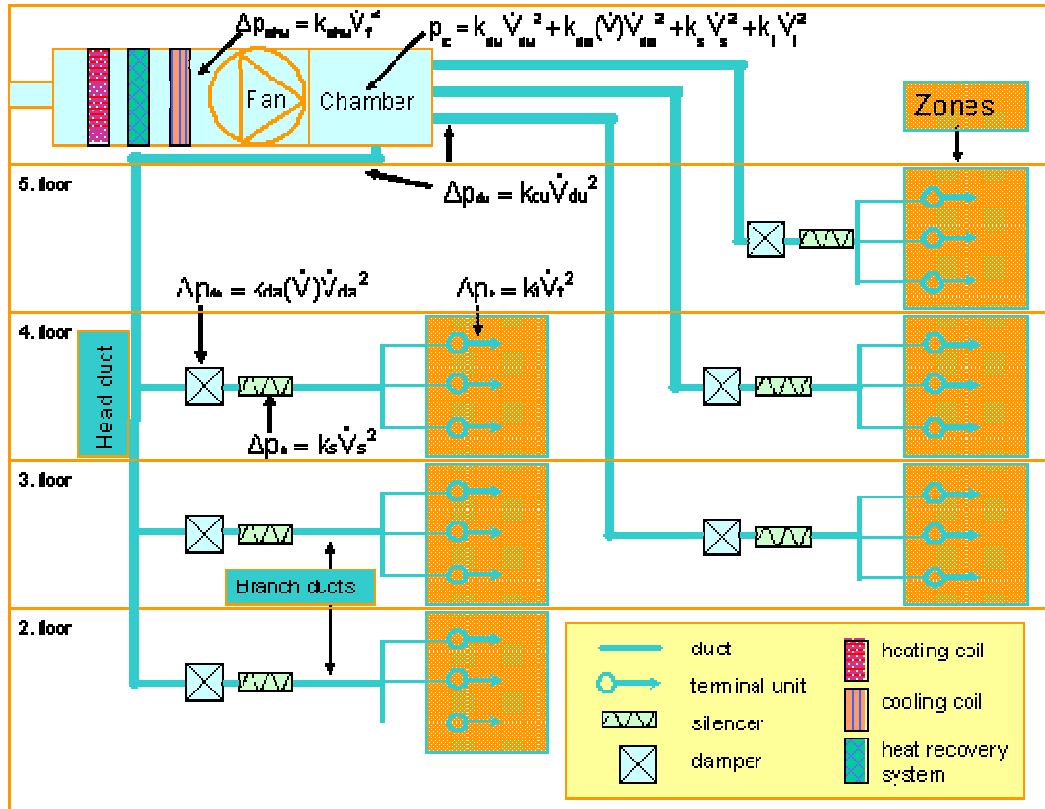
Kuva 33. Erään koulurakennuksen laskettujen ja mitattujen lämmitysenergian kulutusten vertailu.



Kuva 34. Erään koulurakennuksen laskettujen ja mitattujen jäähdytysenergian kulutusten vertailu.



Kuva 35. Erään koulurakennuksen lämmitys- ja ilmanvaihtojärjestelmän malli.



Kuva 36. Erään koulurakennuksen ilmanvaihtojärjestelmän malli.

5.2 Mittausmenetelmät

5.2.1 Mittaukset yleensä

Mittaukset tulee suunnitella siten, että kaikki toimivuuden varmistamisessa tarvittavat suureet mitataan. Energiankulutuksen perusmittauksia ovat yleensä sähkön ja kaukolämmön kokonaiskulutus. Siksi sekä lämmön että sähkön kulutuksessa on oltava riittävästi alamittauksia eri järjestelmissä ja rakennuksen eri osissa. Yleensä nämä perusmittaukset eivät kuitenkaan riitä selittämään järjestelmien toiminnan tehokkuutta tai toiminnassa epäiltyjä vikoja. Jos esim. koneellisen ilmastointijärjestelmän toiminta halutaan mitata yksityiskohtaisesti, järjestelmän lämmön (kaukolämmön) ja puhaltimien sähkönkulutus, ilmavirtojen suuruus sekä lämmön talteenoton hyötysuhde täytyy mitata.

Yleensä luotettavimpaan tulokseen päästään jatkuvaan rekisteröintiin pohjautuvilla mittauksilla. Kuitenkin myös hyvin suunnitellut kertamittaukset (ilmakanavien lämpötilat ja ilmavirrat) kertovat paljon järjestelmien toiminnasta.

Jos rakennuksen sisäilmaston tasoa (esim. sisälämpötilojen vaihtelua ja pysyvyyttä) halutaan mitata, on oltava käytössä jatkuva, esim. Internet-pohjainen mittaustulosten rekisteröinti, jota voidaan myöhemmin käyttää tulosten analysointiin.

5.2.2 Sähkön mittaukset

Laskutusmittaus

Kiinteistön sähköjakelujärjestelmä käsittää jakeluverkonhaltijan ja asiakkaan liittymispisteen (yleensä sähkön laskutusmittaus) asiakkaan puoleisen sähköenergian jakelujärjestelmään. Yleensä liittymiskaapelointi liitetään rakennuksen pääkeskukseen, jonka kautta toteutetaan sähkönjakelu alueittaisiin jakokeskuksiin. Tavallisesti jakeluverkonhaltijan laskutusmittaus on sähköpääkeskuksessa. Omakotitaloissa laskutusmittaus on useimmiten omissa erillisissä mittauskeskuksissa.

Sähkön laskutus perustuu pätö- ja loissähkömaksuihin. Erillisiä loissähkömaksuja voidaan soveltaa suoraan vain loissähkömittauksella varustettuihin asiakkaisiin. Kiinteistön pääsulakkeiden suuruus määräytyy kuormien ottaman sähkövirran mukaan. Pienkuluttajilta mitataan pätöenergia ja laskutus suoritetaan kulutetun pätöenergian mukaan. Mittari luetaan tai mittarilukema hankitaan pyytämällä sitä kirjallisesti asiakkaalta yleensä keran vuodessa. Suuremmilta kuluttajilta rekisteröidään pätöenergian lisäksi myös pätö- ja loistehon keskiarvo tiettyinä aikajaksona. Tehojen mittausjakso on vakiintunut yhdeksi tunniksi aiemmin yleisesti käytetyn 15 minuutin sijasta. Loistehoa voidaan ottaa tai

tuottaa jakeluverkkoon ilmaiseksi vain tietty määrä, tavallisesti 20...25 % laskutuksen perusteena olevasta pätötehosta, joka määritellään tavallisesti kahden suurimman huipun omaavan talvikuukauden (1.11.–31.3.) huippujen keskiarvoksi.

Merkittävät muutokset sähkömittaustoiminnassa aloitti 1.9.1995 voimaan tullut sähkömarkkinalaki, joka käynnisti kilpailun sähkömarkkinoilla, aluksi suurimmilla käyttöpaikoilla. Voimaan tullut laki edellytti vapaan sähkökaupan piiriin tuleville käyttöpaikoille tuntimittausta. Vapaa sähkökauppa edellytti myös sähkötaseen hallintaa vuorokausitasolla, mikä johti sähkömittareiden kaukoluennan nopeaan käyttöönottoon tuntimittaushuoneissa. Käyttöpaikat, jotka nykyisin haluavat sähkökilpailun piiriin, tekevät siitä itse päätöksen ja samalla hyväksyvät ne lisäkustannukset, jotka tuntimittausta aiheuttaa. Käyttöpaikkoja, joiden pääsulakekoko on 3 x 63 A tai pienempi, tuntimittausta ei koske, vaan niiden kohdalla käytetään ns. tyyppikuormituskäyrämenettelyä.

Energianmittaus ja mittarienluenta pyritään integroimaan mittausjärjestelmäksi. Tällöin yksittäisen käyttöpaikan mittariasennuksesta on siirrytty mittarin liittämiseen mittausjärjestelmään. Käyttöpaikan mittalaitteesta on tullut mittausjärjestelmän päätelaite, johon voi olla integroitu yhteen tiedonsiirto-ominaisuus. Tämä luo hyvät edellytykset kehittää järjestelmää niin, että samalla päätelaitteella pystytään keräämään myös kaukolämmön, kaukokylmän, veden ja kaasun kulutuslukemat.

Aiemmin energianmittaus oli yhtiöiden oman henkilökunnan toimintaa. Nyt mittaus-toiminnan järjestämisessä on lukuisia toimintamalleja. Alalle on tullut palveluyrityksiä, jotka hoitavat mittauksen ja luennan kokonaisuudessaan sekä saattavat omistaa myös mittalaitteet. Mittaustiedon jalostus ja välittäminen osapuolten erilaisiin energianhallintajärjestelmiin on lisääntynyt. Asiakkaat ja sähkönmyyjät kokevat yhä tärkeämmäksi palveluksi myös sen, että asiakas pääsee omilla välineillään katsomaan omat tietonsa energiayhtiön tai mittausta hoitavan palveluyhtiön tiedostoista. Mittaustiedon saaminen suoraan verkkoyhtiön mittalaitteilta (esim. pulssitietona) asiakkaan energianhallintajärjestelmään tai muuhun tiedonkeruujärjestelmään on mahdollista, mutta edellyttää aina sopimista paikallisen verkkoyhtiön kanssa. Laskutusmittauksesta saatavia sähköntuntitietoja voidaan käyttää hyväksi toimivuuden varmistamisessa (esim. sähkölaitteiden yhteiskäyttökokeessa määritettyjen sähkötehon minimivoitetasojen seurannassa).

Digitaalitekniikan myötä markkinoille on tullut myös integroitua sähköntuotannon ja energian mittareita, joita voidaan käyttää sähköntuotannon lisäksi sähköntuotannon tarkkailuun. Uusilta mittalaitteilta ja mittausjärjestelmiltä odotetaan mm. ratkaisua sähköntuotannon keskeytysten vakiokorvausmenettelyn käyttöpaikkakohtaiseen hallintaan ja todentamiseen (pienjänniteviat). Lakiin kirjatun menettelyn mukaan jakeluverkonhaltija on velvollinen maksamaan sähköntuotantajalle korvauksen yli 12 tuntia kestävästä sähköntuotantomahdollisuuden puuttumisesta.

Sähkötehon hetkellismittaukset

Rakennusten sähkönkäytön selvittämisessä käytetään sekä hetkellisten sähkötehojen mittauksia että pitempikestoisia sähköenergian mittauksia. Kummallekin on omat mittalaitteensa. Lisäksi sähkön laadun mittaukset vaativat omat mittalaitteensa. Mittalaitteiden kytkennät ja tarvittavien mittausten lukumäärä riippuu sekä itse mittalaitteesta että mitattavan sähkölaitteen tai sähkökeskuksen kytkentätavasta.

Kolmivaihetehon mittaamista tarvitaan, kun halutaan selvittää sähkölaitteen tai sähkökeskuksen ottama hetkellinen teho, esimerkiksi tulo- tai poistoilmapuhaltimien sähkömoottorien ottamat sähkötehot. Mittaus on luontevinta suorittaa pihtityyppisellä mittalaitteella, jonka käyttö ei edellytä johdinten irrottamista. Mittalaitteen pitää olla sellainen, että se mittaa samanaikaisesti sekä virran että jännitteen ja laskee ja näyttää verkosta otettavan sähkötehon. Pelkästään virtaa mittaava pihtimittari ei sovellu tähän käyttöön, koska olettamalla muut arvot (jännite ja tehokerroin $\cos\phi$) ei saada riittävän tarkkaa arvoa.

Sähkötehon mittaukseen soveltuva pihtimittalaite voi olla pelkästään yhden vaiheen sähkötehon mittaamiseen soveltuva, tai siinä voi olla kolmivaihetehon mittausadapteri. Kummallakin pystyy mittaamaan kolmivaihetehoa. Yksivaihemittalaitteella tarvitaan aina kaksi tai kolme erillistä mittausta kolmivaihetehon määrittämiseksi riippuen mitattavan kuorman kytkennästä. Kolmivaihetehon mittausadapterilla varustettu mittalaite mittaa virran yhdestä vaiheesta kerrallaan, mutta jännite mitataan samalla kaikista kolmesta vaiheesta. Mittari laskee jännitteen ja virran välisen vaihekulman ϕ avulla tehokertoimen $\cos\phi$ ja näyttää pätötehon mitattavan vaiheen perusteella koko sähkölaitteelle.

Mittalaitteesta on tärkeä todeta, että se on spesifioitu mittaamaan todellista tehollisarvoa (true-RMS) mitattavan taajuusalueen ulottuessa mielellään 3 kHz:iin. Tällöin mittalaite pystyy huomioimaan hyvin sähkövirran poikkeamat siniaallosta.

Ilmanvaihtokoneen puhaltimien sähkötehojen mittaamista käsitellään yksityiskohtaisesti viitteessä LVI 30-10349 (2004). Siinä mm. ohjeistetaan suorittamaan sähkötehon mittaus aina taajuusmuuttajalla ohjatun puhallinmoottorin taajuusmuuttajan tulopuolelta, ei koskaan taajuusmuuttajan lähtöpuolelta, muuttajan ja moottorin välistä.

Sähköenergian lyhytaikaiset mittaukset

Kun rakennuksen sähköenergian käyttöä halutaan selvittää tilapäisillä mittauksilla, mitausjaksoksi valitaan yleensä vähintään viikon jakso, koska silloin saadaan selville kuormitusprofiilit sekä työpäiviltä että viikonlopulta. Mittaustietojen tallennusväli valitaan tavallisesti väliltä 1 minuutti...1 tunti sen mukaan, miten tarkkaa analyysiä halutaan suorittaa. Yhden minuutin keskitehojen perusteella voidaan arvioida karkeasti sähkö-

keskuksen kokonaistehoista mahdollisten suuritehoisten sähkökuormien toimintaa. Yleensä seurantajakso on vähintään yhden viikon mittainen.

Mittauslaitteina käytetään kolmivaihetehoa mittaavia datan keruulaitteita, jotka on varustettu riittävällä muistikapasiteetilla. Tällä perinteisellä mittaustavalla yhdellä mittalaitteella mitataan joko sähkökeskuksen kokonaissähköenergiaa tai yhden laitteen kuluttamaa sähköenergiaa.

Sähkölaitteiden toimintojen mittaus sähkökeskuksesta käsin (NIALM)

Perinteisesti on erittäin vaikeaa ja kallista mitata rakennuksen yksittäisten sähkölaitteiden sähkönkulutuksen ajallista vaihtelua, koska jokaisen monitoroitavan laitteen syöttöjohtoon on erikseen asennettava kWh-mittari, joka kerää mittaustiedon ja lähettää sen sopivaa tiedonsiirtoväylää pitkin mittaustiedon keruuyksikköön. Ratkaisua tähän ongelmaan on etsitty uudesta, sähkökeskukseen asennettavasta keskitetystä mittaustiedon keruumenetelmästä. Menetelmän avulla saadut laitekohtaiset mittaustulokset eivät ole aivan tarkkoja, mutta useisiin käytännön sovellutuksiin riittäviä.

Mittausmenetelmän perusajatuksena on se, että sähkökeskuksen syöttöjohtoihin kytketään mittalaite, joka rekisteröi riittävän suurella taajuudella pätö- ja loistehojen (jännitteet ja virrat) arvot. Näitä arvoja reaaliaikaisesti analysoimalla tunnistetaan kehitettyjen algoritmien avulla laitteiden päälle- ja poiskytkennät sekä tehotilasta toiseen siirtymiset. Tästä tekniikasta käytetään nimeä NIALM, joka on lyhenne englannin kielen sanoista Non-Intrusive Appliance Load Monitoring. Suomennettuna tämä ("non-intrusiivinen") tarkoittaa laitteiden kuormituksen seuranta ilman, että jokaiseen laitteeseen asennetaan omaa tehonmittausta (= "intrusiivinen"), vaan kaikkia saman syötön takana olevia kuormia ja kokonaiskuormitusta seurataan yhdellä mittalaitteella samanaikaisesti. Lisätietoja tästä mittaustekniikasta löytyy viitteestä Pihala (2002).

Sähkön laadun mittaus

Tavallisimpia sähkön laadun mittauksessa sähkötehojen lisäksi monitoroitavia suureita ovat

- vaihejännitteet (U/V)
- virrat (I/A)
- kokonaissärö (THD-F %)
- tasajännitekomponentin itseisarvot (U_{dc} %)
- jännitteen epäsymmetriat (U₂/U₁, U₀/U₁ %)
- taajuus (f/Hz)
- jännitteen harmoniset yliaallot (3., 5. jne.)
- virran harmoniset yliaallot (3., 5. jne.).

Nämä suureet tallennetaan 10 minuutin arvoina. Lisäksi voidaan monitoroida jännitekuopat ja -kohoumat.

Sähkön tyhjäkäyntitehojen määrittäminen

Kokeella selvitetään mittauksin rakennuksen sähkötehojen suuruutta eri kuormitustilanteissa, erityisesti sähkötehojen suuruus eri sähkökeskuksissa yö- ja viikonloppukäyttötilanteissa. Näin saadaan selville yö- ja viikonloppukäytön sähkötehojen vertailutaso. Mikäli käyttötilanteissa kuormitus poikkeaa näistä merkittävästi, pitää kuormituksen muutoksen syy selvittää. Analyysi perustuu tuntikeskitehojen seurantaan. Kutakin tarkasteltavaa kuormitustilannetta on tällöin pidettävä päällä vähintään yksi tunti, jotta tehoarvo saadaan rekisteröityä. Lisäinformaatiota eri kuormituksista on mahdollista saada, jos on käytettävissä sähkötehoja lyhyellä aikaresoluutiolla (esim. yksi minuutti) tallentava dataloggeri, joka kytketään rakennuksen laskutusmittauksen rinnalle. Tällöin laitteita tai laiteryhmiä päälle ja pois kytkemällä on mahdollista määrittää kyseisen laitteen tai laiteryhmän sähköteho. Mikäli rakennuksessa ei ole omaa sähkönmittausjärjestelmää, kokeessa on mahdollista käyttää hyväksi jakeluverkonhaltijan kautta hankittavia laskutusmittarin tuntitehotietoja.

Yötilanne simuloidaan siten, että kaikki kuormat kytketään vastaamaan yökäyttötilannetta (ilmastointi yökäytölle, keittiölaitteet pois päältä, ulkovalot päälle, sisävalaistus pois päältä, pc:t kytketään pois päältä). Päälle jätetään kiertovesipumput, osa poistoilmapuhaltimista, ulkovalaistus, hissien valot, pistorasioihin liitettyjen laitteiden stand by -kulutus, rakennuksen automaatiolaitteet, äänentoistolaitteet ja tietoliikennelaitteet. Mikäli rakennuksessa on sähköenergiaa kuluttava jäähdytys- tai lämmitysjärjestelmä, kokonaissähkönkulutus riippuu siitä, tehdäänkö koe lämmitys- vai jäähdytyskaudella. Koe tehdään ilman jäähdytys- tai lämmityskuormaa, jolloin ulkolämpötila ei vaikuta mittaustulokseen.

Esimerkki tällaisen kokeen käytännön suorittamisesta on liitteessä E.

Lisäksi on huomattava, että sähkökuormituksen ottaman tehon suuruus riippuu vallitsevasta jännitetasosta. Resisttiivisten kuormien (lämmityskuormat, hehkulamput) ottama teho on suoraan verrannollinen jännitteen neliöön. Muiden kuormien osalta riippuvuus on pienempi, mutta riittävän tarkka arvio saadaan käyttämällä neliöllistä riippuvuutta. Sähkönlaatustandardin mukaan jännite voi vaihdella kymmenen prosenttia nimellisjännitteen 230 V kummallakin puolella (207 V...253 V). Käytännössä jännite vaihtelee taajamissa yleensä välillä 220...240 V. Yleensä jännite on yöaikaan hiukan korkeampi kuin päivällä, jolloin kuormitus on yöaikaista suurempi. Olettamalla, että tietyn kohteen jännitteen minimi- ja maksimiarvojen erotus on enintään 6 V (2,6 % nimellisjännitteestä), saman kuormituksen ottaman tehon vastaava vaihteluväli on noin 5 %.

Käytönaikainen sähkötehojen tarkkailu edellyttää tuntitasoisen datan keruuta rakennusautomaatioon, ja tietyn seurantajakson jälkeen on mahdollista asettaa sopivat hälytysrajat eri mittauspisteiden sähkötehoille. Tällainen seuranta mahdollistaa sen, että saadaan selville, jääkö valoja, pc:itä, keittiölaitteita tai muita sähkölaitteita päälle turhaan silloin kun rakennus on ”tyhjäkäynnillä” (tyypillisesti illat, yöt, viikonloput, kesäomat). Myös laitevikoja on mahdollista indikoida sähkötehojen seurannalla.

5.2.3 LVI-järjestelmän mittaukset

Vesijärjestelmän toimivuuden tarkastaminen sisältää vuotojen tarkastamisen. Tarkastus voidaan tehdä normaalilla vesimittarilla varustetussa järjestelmässä siten, että ns. 0-kulutustilanteessa pääsulku suljetaan esimerkiksi puolen tunnin ajaksi. Kun sulku avataan, vesimittarin lukemat muuttuvat, jos järjestelmässä on vuotoja.

Mikäli kiinteistön vedenkulutuksen seuranta on liitetty rakennusautomaatiikkaan, voidaan automatiikan avulla mitata 0-kulutusarvoja, jotka kertovat suoraan järjestelmän putki- tai tiivistevuodoista.

Viemärijärjestelmän osalta toimivuuden varmistaminen voidaan tehdä käyttökokeella, jossa järjestelmää kuormitetaan suurella vesimäärällä ja seurataan järjestelmän toimintaa. Perustarkastuksessa viemäri- ja salaojajärjestelmät voidaan videokuvata, jolloin nähdään järjestelmien puhtaus ja kunto.

5.2.4 Sisäilmastomittaukset

Sisäilmastoluokituksen toteutuminen (jos asetettu)

Monien Sisäilmastoluokituksessa mainittujen ilmanlaatua kuvaavien suureiden osalta tarvitaan vielä paljon tutkimustyötä, jotta kaikkien osapuolien kannalta oikeudenmukaiset menettelyt saadaan käytäntöön. Sisäilman laadun todentamisen kannalta yksi suurimmista ongelmista on se, että tuloksiin vaikuttavat useat tekijät, jotka vaihtelevat ajan ja paikan suhteen.

Sisäilmastolle asetetut tavoitetasot on tällä hetkellä mahdollista todentaa seuraaville suureille:

- huonelämpötila
- lattian pintalämpötila
- lämmitys- ja ilmastointilaitteiden äänitaso

- radonpitoisuus
- hiilidioksidipitoisuus.

Suunnitteluasiakirjoissa on esitettävä ne suunnittelu- ja takuuarvot, joiden toteutuminen voidaan tarvittaessa todentaa. Myös mittausolosuhteet, -menetelmät ja -toleranssit on mainittava.

Lämpöolojen tavoitearvojen toteutuminen mitataan talvella, kun ulkolämpötila on alle $-5\text{ }^{\circ}\text{C}$, ja kesällä, kun ulkolämpötila on yli $20\text{ }^{\circ}\text{C}$ ja sää on selkeä.

Ilmanvaihto (määrä ja hygienia)

Suunnitteluvaiheessa on varmistettava (tarkistuslistan mukaan), että vastaanotto- ja käyttövaiheessa ToVa-mittauksille on riittävät edellytykset sekä mitattavuuden että aikataulun ja ajankäytön osalta.

Käyttöönottovaiheen ToVa-käynnin yhteydessä mitataan pistokokeenomaisesti:

- tulo- ja poistoilmamäärät (normaali- ja tehostustilanne) oleskelutiloista ja niitä palvelevista ilmanvaihtokoneista
- paine-erot ulko- ja sisäilman välillä.

Käyttö- ja ylläpitovaiheen ToVa-käynnin yhteydessä tarkistetaan ilmanvaihtolaitteiden puhtaus aistinvaraisesti. Lisäksi mitataan pistokokeenomaisesti

- tulo- ja poistoilmamäärät (normaali- ja tehostustilanne) oleskelutiloista ja niitä palvelevista ilmanvaihtokoneista
- paine-erot ulko- ja sisäilman välillä.

Lämpöolot

Epätyydyttäväksi koetut lämpöolot työpaikoilla ja asunnoissa voivat johtaa käyttäjien ja asukkaiden valitukseen. Vaikeutena on se, että ihmiset kokevat lämpöolot eri tavoin. Valitukset voivat johtua myös kohonneesta laatutietoisuudesta ja kustannustasosta. Näin ollen yleensä ei voida osoittaa yhtä tekijää, josta alentunut lämpöviihtyvyys johtuu. Alentunut lämpöviihtyvyys on useiden osatekijöiden summa, ja lämpöoloja joudutaan mittaamaan usein eri menetelmin, kuten:

- vetomittaukset
- pallo- ja ilman lämpötilamittaukset
- pintalämpötilamittaukset

- ilman suhteellisen kosteuden mittaukset
- lämpövirtalevymittaukset
- tiiviysmittaukset
- lämpökuvaus.

Mittauksia voidaan tehdä kerta- tai jatkuvatoimisinä mittauksina, jolloin tulokset tallennetaan tietojenkeruulaitteeseen. Kertamittauksista saatava tietosisältö on harvoin riittävä ongelman ratkaisemiseen.

Ilman liikenopeus mitataan anemometrillä, jonka tulee olla suuntariippumaton. Veto määritetään kolmen minuutin keskiarvolukuna. Työpaikoilla liikenopeus ja ilman lämpötila voidaan mitata työntekijän 0,1 m, 1,1 m ja 1,7 m korkeudelta lattiasta. Tarvittaessa etsitään vedon suhteen kriittisimmät oleskeluvyöhykkeen kohdat savukokein. Veto-kriteerinä voi olla mittaustulos tai vetökäyrä D2 (SFS 5511).

Ilman lämpötila mitataan kiinteiden työpisteiden ja koko huonetilaa edustavista pisteistä 1,1 m korkeudelta lattiasta. Lämpötilan kerrostumisen selvittämiseksi mitataan samalta pystyviivalta 0,1 m, 1,1 m ja 1,7 m korkeudelta lattiasta (SFS 5511).

Huonetiloissa, joissa esiintyy voimakasta lämpösäteilyä tai alhaisia tai korkeita pintalämpötiloja, mitataan ilman lämpötilan sijaan operatiivinen lämpötila. Sen mittaamiseen käytetään yleensä ns. pallolämpömittaria, kun ilman virtausnopeus on alle 0,4 m/s (SFS 5511).

Pintalämpötila mitataan yleensä vain, jos on olemassa perusteltu epäily tai näyttö terveys- tai viihtyisyys Haitasta. Sisäilmaselvityksissä voidaan käyttää kosketusanturia tai infrapunalämpötilamittaria. Vaikka viileä pinta voi olla hyvin pieni, mitataan pintalämpötila koko seinämällä. Pintalämpötilojen sekä sisä- ja ulkoilman lämpötilojen avulla voidaan laskea ns. lämpötilaindeksi, jonka avulla voidaan arvioida rakennuksen vaipan lämpöteknistä toimivuutta (Asumisterveysohje 2003).

Ilman suhteellisen kosteuden mittaus tehdään yleensä yhdestä pisteestä suuressakin huoneessa. Mittaus voidaan tehdä psykrometrillä, hiushygrometrillä, hiushygrograafilla tai sähköisellä mittalaitteella.

Lämpövirtalevymittauksia ei ole paljoakaan käytetty, vaikka menetelmä sinänsä ei ole kallis. Lämpövirtalevyn avulla voidaan määrittää rakenteen läpi kulkeva lämpövirta. Mittauksiin vaaditaan vakiotilanne; tavallisesti joudutaan mittaamaan viikon pituinen jakso.

Rakennusten ulkovaipan ilmanpitävyyttä mitataan tiiviysmittauksella. Siinä ulko- ja sisätilan välille aiheutetaan 50 Pa:n alipaine ja mitataan paine-eron ylläpitämiseen tarvittava ilmamäärä. Mitattu ilmamäärä jaetaan tutkittavan tilan ilmatilavuudella, jolloin tuloksena saadaan ns. ilmavuotoluku n_{50} [1/h] (vaihtoa tunnissa). Ilmavuotokohdat voidaan paikallistaa lämpökameralla ja merkkisavuin. Rakenteelliset kylmäsiilat jäähtyvät alipaineessa vähemmän kuin ne kohdat, joiden ilmanpitävyydessä on puutteita. Hyvin rakennetun pientalon ilmavuotoluku tulisi olla < 3 1/h, mieluiten 1–2 1/h. Suomessa ei ole varsinaisia määräyksiä rakennusten ilmatiiviydelle.

Lämpökuvauksesta on valmistunut tilaus-, kuvaus- ja raportointiohje (RT-ohjekortisto: Rakennusten lämpökuvaukset). Rakennusten lämpökuvauksien sertifiointi on käynnistynyt vuonna 2004.

Sisäilman laatu

Luovutus- ja käyttöönottovaiheessa sisäilman laatu on tarkoituksenmukaista mitata pistokokeenomaisesti ToVa-käynnin yhteydessä seuraavien suureiden osalta:

- äänenpainetaso
- mineraalikuitujen pitoisuus tuloilmassa ja kertymät huonepinnoille.

Käyttö- ja ylläpitovaiheen ToVa-käynnin yhteydessä mitataan pistokokeenomaisesti:

- äänenpainetaso
- mineraalikuitujen pitoisuus tuloilmassa ja kertymät huonepinnoille
- kemiallisten aineiden pitoisuudet sisäilmassa (TVOC, formaldehydi, CO_2).

Äänenpainetaso mitataan tarpeen mukaan erikseen päivä- ja yöaikaan. Vastaavat äänenpainetason ohjearvot $L_{Aeq, 07-22}$ ja $L_{Aeq, 22-07}$ tarkoittavat sitä melun tasoa, jolle sisätiloissa oleskeleva henkilö saisi enintään altistua. Meluksi ei katsota sisätilassa harjoitettavan toiminnan, kuten työnteon, kotitalouskoneiden, radion kuuntelun tai artistien esitysten, samaan sisätilaan aiheuttamia ääniä, lukuun ottamatta tapauksia, joissa tällainen ääni voi aiheuttaa kuulovauriovaaran tai -riskin. Myöskään luonnonilmiöiden ja luonnonvaraisien eläinten äänet luonnossa ja luonnon muovaamissa rakenteissa eivät ole terveydensuojelulain tarkoittamaa melua, kun taas tuulen, sateen ja esimerkiksi meren aaltojen teknisissä rakenteissa synnyttämät äänet sekä tarha- ja kotieläinten äänet ovat. Rakennusten teknisten laitteiden aiheuttaman melun keskiäänitason tulee olla alle edellä mainittujen ohjearvojen. Koska rakennusten käyttötarkoitukset, melutason ajalliset ja paikalliset arvot sekä meluhaittojen ja melutasojen väliset riippuvuudet vaihtelevat tapauskohtaisesti, ei voida antaa yleisiä ja yksinkertaisia, kaikkiin tilanteisiin soveltuvia mittaushojeita. Mittaustuloksiin vaikuttavia tekijöitä, jotka tulee ottaa huomioon melumittauksia

suunniteltaessa ja tehtäessä sekä mittaustuloksia tulkittaessa, esitellään esimerkiksi sosiaali- ja terveystieteiden tutkimuskeskuksen tutkimusohjelmassa. (Asumisterveysohje 2003.)

Mineraalikuitujen pitoisuus tuloilmassa mitataan asettamalla orgaanista materiaalia oleva suodatinkangas tuloilma-aukon kohdalle. Tuloilman tilavuusvirta mitataan ilman suodatinta ja suodattimen kanssa. Suodattimen annetaan kerätä mineraalikuituja muutaman päivän ajan, minkä jälkeen suodatin lähetetään analysoitavaksi. Analyysissä epäorgaaniset mineraalikuidut erotetaan orgaanisesta suodatinmateriaalista ja lasketaan valomikroskoopilla kuitujen määrä suodatinpinta-alayksikköä kohden. Mitatun ilmamäärän ja suodattimen pinta-alan avulla voidaan laskea mineraalikuitujen pitoisuus tuloilmassa (kuitua/m³).

Mineraalikuitujen kertymät huonepinnoille mitataan joko pyyhintä- tai teippimenetelmällä. Pyyhintämenetelmässä pöytä- ja vastaavia pintoja pyyhitään Minigrip-pussilla. Pyyhinnän jälkeen pussi käännetään ympäri ja lähetetään analysoitavaksi. Pölyn koostumus ja määrä tutkitaan pyyhkäisyelektronimikroskoopin (SEM) ja EDS-analysaattorin avulla. Tuloksena saadaan mineraalikuitujen painoprosenttiosuus koko pölyn määrästä. Teippimenetelmässä pinnoille laskeutunutta pölyä kerätään teipin (BM Dustfilters) avulla. Ennen mittausta voidaan mitattava kohta puhdistaa pölystä ja antaa pölyn kertyä muutaman päivän ajan, minkä jälkeen tehdään varsinainen teippikoe. Teippiin kerääntyneiden mineraalikuitujen määrä lasketaan stereomikroskoopilla. Tuloksena saadaan kertymä tietyn ajan kuluessa (kuitua/cm² tai kuitua/cm²,vrk). Sekä tuloilmasta että pinnoilta otetuista näytteistä otetaan tarkasteluun vain kuidut, joiden pituus on yli 20 µm. Tätä lyhyemmillä kuiduilla ei juurikaan ole ärsytysvaikutusta.

Kemiallisten haihtuvien yhdisteiden kokonaismäärää (TVOC = Total Volatile Organic Compounds) mitataan ns. Tenax-putkilla. Mittaustulosta ei voida sellaisenaan käyttää terveyshaitan arvioinnissa. Kohonnut TVOC-pitoisuus (yli 600 µg/m³) on kuitenkin osoitus kemiallisten aineiden epätavallisen suuresta määrästä sisäilmassa. Tällöin lisämittaukset yksittäisten yhdisteiden selvittämiseksi ovat tarpeen. On huomattava, että TVOC-pitoisuudet ovat usein suurimmillaan uusissa rakennuksissa ja peruskorjauksen jälkeen. Tämän vuoksi kemiallisia mittauksia suositellaankin tehtävän vasta vähintään puolen vuoden päästä rakennuksen tai peruskorjauksen valmistumisesta.

Formaldehydipitoisuus määritetään ensisijaisesti standardin SFS 3862 mukaisesti. Pitkän ajan keskiarvopitoisuus määritetään ns. passiivikeräimellä, joka sijoitetaan huoneistoon 1 vuorokauden ajaksi ja toimitetaan tämän jälkeen laboratorioon analysoitavaksi. Formaldehydi ja muut aldehydit voidaan määrittää myös nestekromatografilla, jolloin näyte kerätään pumpulla silikageelipatruunaan.

Hiilidioksidipitoisuus on suositeltavaa mitata sellaisilla jatkuvatoimisilla, rekisteröivillä mittalaitteilla, joiden toiminta perustuu infrapunasäteilyn adsorptioon (SFS 5412) tai sähkökemialliseen kennoon. Sisäilman kohonnut pitoisuus on merkki ilmanvaihdon riittämättömyydestä, eikä sille voida asettaa mitään tarkkaa terveydellistä ohjearvoa.

Mittausten laajuus

Sisäilmastomittaukset tehdään yleensä pistokokein. Tietty osa rakennuksen huonetiloista tai huoneistoista valitaan satunnaisotoksella siten, että saadaan käsitys koko rakennuksen toimivuudesta ja suunnitelmienmukaisuudesta. Taulukossa 10 on ohjeet otoksien suuruudesta erilaisille sisäilmaston suureille. Otoksen suuruus määritellään tapauskohtaisesti suunnitellun sisäilmaston luokitustason, rakennustyyppin ja tilojen käyttötarkoituksen mukaan.

Mittauskohteiden valintaan pitää vaikuttaa myös huonetilojen koon, muodon ja käytön siten, että monikäyttörakennuksissa valitaan mittauskohteita kaikista tilatyypeistä. Lisäksi rakennuksen jako säätövyöhykkeisiin ja kerroksiin otetaan huomioon. Mittauksen ajankohtaa valittaessa otetaan huomioon laitoksen valmiusaste ja ulkoiset olosuhteet.

Taulukko 10. Sisäilmastomittausten kattavuus (SFS 5511). Otoksen suuruus on prosentteina mitattavista tiloista tai tilojen osista.

Laatuluokka	A	B	C
Huoneilman lämpötila ¹⁾	100	40	20
Ilman nopeus (veto)	100	40	20
Pintojen lämpötilat	o	o	o
Operatiivinen lämpötila	z	z	z
Huoneilman kosteus	10	10	o
Huoneilman laatu (pitoisuudet)	o	o	o
Huonekohtainen tuloilmavirta ²⁾	100	40	20
Huonekohtainen poistoilmavirta ²⁾	100	40	20
Äänitaso huoneessa (SFS 5517) ³⁾	30	20	10
Painesuhteet (paine-ero ja suunta)	30	20	10
Ääneneristävyys	z	z	z
Tuloilman lämpötila	z	z	z

A = Korkea sisäilmaston taso, esim. S1.

B = Hyvä sisäilmaston taso, esim. S2.

C = Tyydyttävä, viranomaismääräykset täyttävä sisäilmaston taso, esim. S3.

o Mitataan vain, jos erikseen sovitaan.

z Mitataan, jos on ilmeiset syyt epäillä, että suunnitelmat/vaatimukset eivät toteudu.

¹⁾ Lämmönjaon perussäädön yhteydessä tehdään kaikkien huoneiden lämpötilojen mittaus.

²⁾ Ilmavirtojen perussäädön yhteydessä mitataan kaikkien huoneiden tulo- ja poistoilmavirrat sekä koko laitoksen ilmavirrat.

³⁾ Kun huonetilat ovat lähinnä samantyyppisiä tiloja, joiden äänitaso on sama. Muussa tapauksessa otos valitaan suuremmaksi.

Sallittavat mittausepävarmuudet ja hyväksymisehdot

Sisäilmaolosuhteet sekä ilmavirrat, lämmitys-, jäähdytys-, kostutus- ja sähkötehot ym. mitoitusarvot mitataan järjestelmän mitoitusilmavirralla. Hyväksyttävät poikkeamat mitoitusarvoista eri suureille esitetään taulukossa 11.

Taulukko 11. Eri suureiden hyväksyttävät poikkeamat mitoitusarvosta (RakMK osa D2).

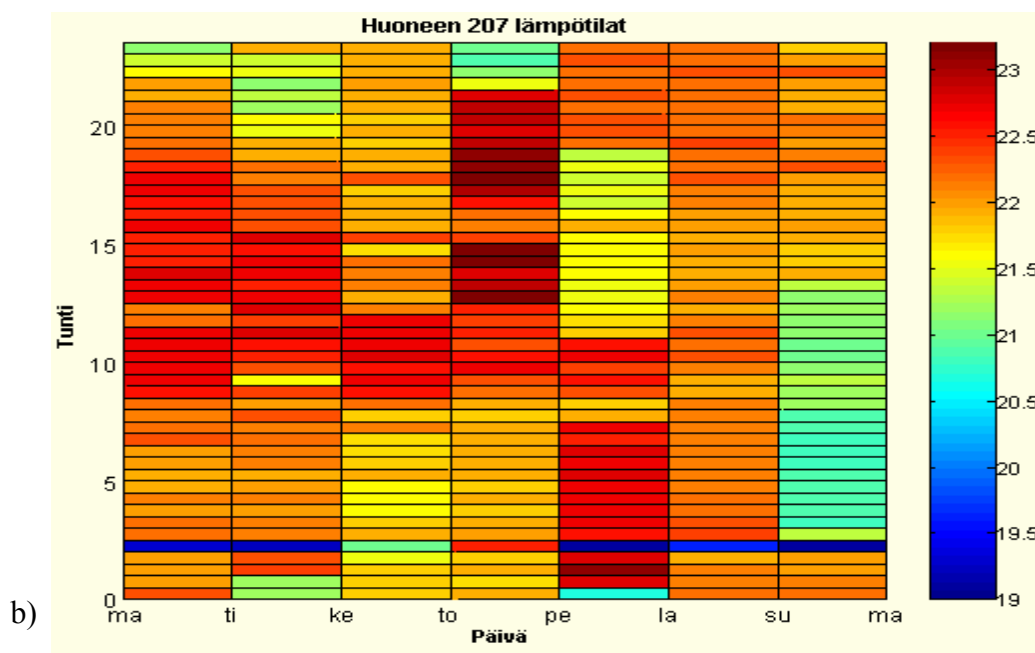
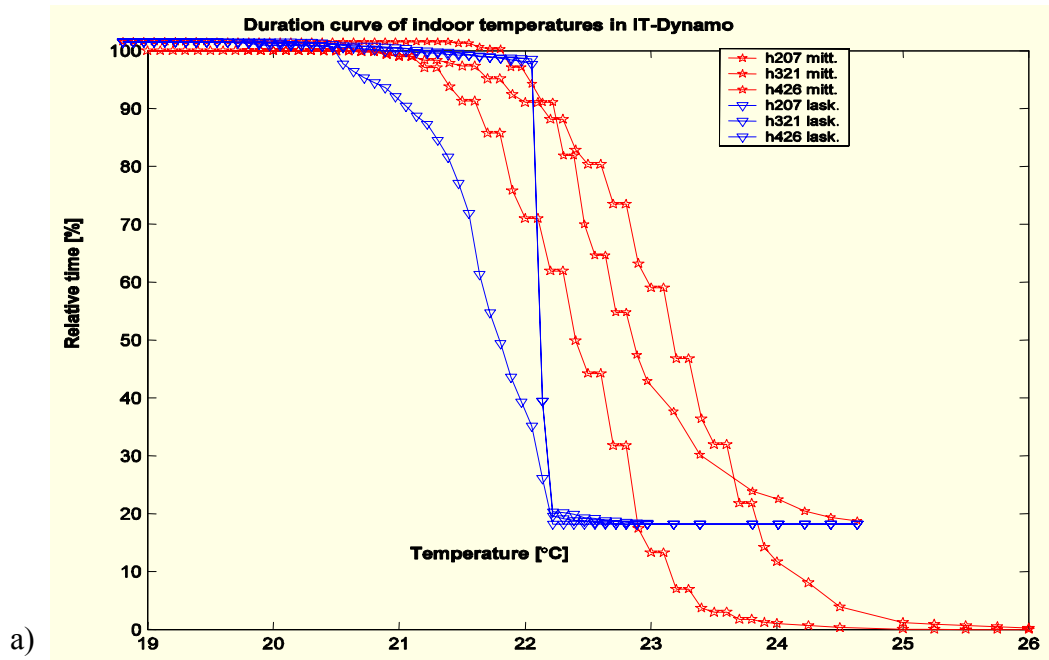
Suure	Hyväksyttävä poikkeama mitoitusarvosta
Ilmavirta huonekohtaisesti	±20 %
Ilmavirta järjestelmäkohtaisesti	±10 %
Ilman lämpötilat tehomittauksissa: – lämmitysteho – jäähdytysteho	±2 °C ±1 °C
Ilman lämpötila oleskeluvyöhykkeellä	±1 °C
Operatiivinen lämpötila	±1 °C
Ilman suhteellinen kosteus	±10 %-yksikköä
Ilman nopeus oleskeluvyöhykkeellä	+0,05 m/s
Äänenpainetaso huoneessa	+2 dB(A)
Äänitehotaso kanavamittauksessa	+4 dB
Lämmitys- ja jäähdytysteho	-10 %
Tehonkulutus muunnettuna vastaamaan mitoitusilmavirtaa	±20 %

Hyväksyttävät poikkeamat sisältävät sekä mittaustuloksen poikkeamat että mittausepävarmuuden.

Mikäli laitoksen toimivuus edellyttää tiukempia toleransseja, määritellään ne erikseen suunnitelmissa. Jos tuotekohtaiset standardit edellyttävät tiukempia toleransseja, noudatetaan niitä. Kaikkien lämpötila- ja lämmitys- tai jäähdytystehotoleranssien tulee toteutua samanaikaisesti.

Mittaukset ja mittausarvojen muuntaminen vastaamaan mitoitusarvoja suoritetaan voimassa olevien SFS- ja ISO-standardien mukaisesti. Mittauksissa käytetään laitteita, joiden kalibrointi on voimassa ja mittausepävarmuus on enintään puolet taulukossa 11 esitetyistä hyväksyttävistä poikkeamista. Jos hyväksyttävälle poikkeamalle on esitetty vain ylä- tai alaraja, kuten äänitasolle, voidaan hyväksyä suurempikin epävarmuus.

Jos rakennuksessa on automaattinen sisälämpötilojen mittaus ja rekisteröinti, sisälämpötilojen visualisointi joko pysyvyyskäyrinä esim. tiloittain tai päivä- tai tuntiakselistossa väreinä (kuvat 7a ja b) tarjoaa hyvän keinon arvioida, miten hyvin sisälämpötilojen tavoitearvot ovat toteutuneet.



Kuva 37 a ja b. Sisälämpötilojen visualisointi.

5.3 Rakennusautomaation perustuvat menetelmät

Tässä osiossa esitetään uusia rakennusautomaation hyödyntämismahdollisuuksia ToVa-toiminnassa. Alussa käydään lyhyesti läpi rakennusautomaation keskeisiä perustoimintoja ja hyödyntämistapoja rakennuksissa. Lopussa ideoidaan uusia tapoja hyödyntää automaatiojärjestelmiä entistä tehokkaammin. Aihetta lähestytään havainnollisten esimerkkien ja käytännön kenttätöistä saatujen kokemusten pohjalta.

5.3.1 Rakennusautomaation hyödyntäminen

Perinteisesti rakennusautomaatiolla tarkoitetaan erilaisia automaattisia säätö-, valvonta-, ja ohjaustoimintoja, joiden avulla hallitaan kiinteistöjen LVIS-prosesseja. Rakennusautomaation tehtävänä on kiinteistöhoidon tavoitteiden mukaisesti huolehtia, että rakennus ja sen tekniset järjestelmät toimivat moitteettomasti, sisäolosuhteet ja energiankulutus pysyvät halutulla tasolla ja rutiinityöt vähentyvät. Kustannussäästöihin pyrittäessä tavoiteltavia asioita ovat LVIS-laitteiden käytön hallinta, olosuhteiden ja energiankäytön hallinta sekä huolto- ja kunnossapitotoiminnan tehostaminen.

Rakennusautomaatiojärjestelmän käyttö voidaan jakaa karkeasti seuraaviin fyysisiin ja ohjelmallisiin perustehtäviin (ST-kortisto):

- fyysiset perussäätö-, hälytys- ja aikaohjaustoiminnot
- ohjelmalliset optimointi-, seuranta-, tilastointi- ja graafiset toiminnot.

Ohjelmistojen hyödyntäminen jää usein vähäiseksi, jos kiinteistönpidon toimintamalleissa ei ole suunnitelmaa ohjelmistojen käytön sisällyttämisestä osaksi ylläpidon vakiorutiineja. Vaikeaselkoisia ohjelmistoja osataan hyödyntää täysimääräisesti vain, mikäli niistä on tehty kattavat kirjalliset suomenkieliset käyttöohjeet ja täydennyskoulutusta tarjotaan määrävälein.

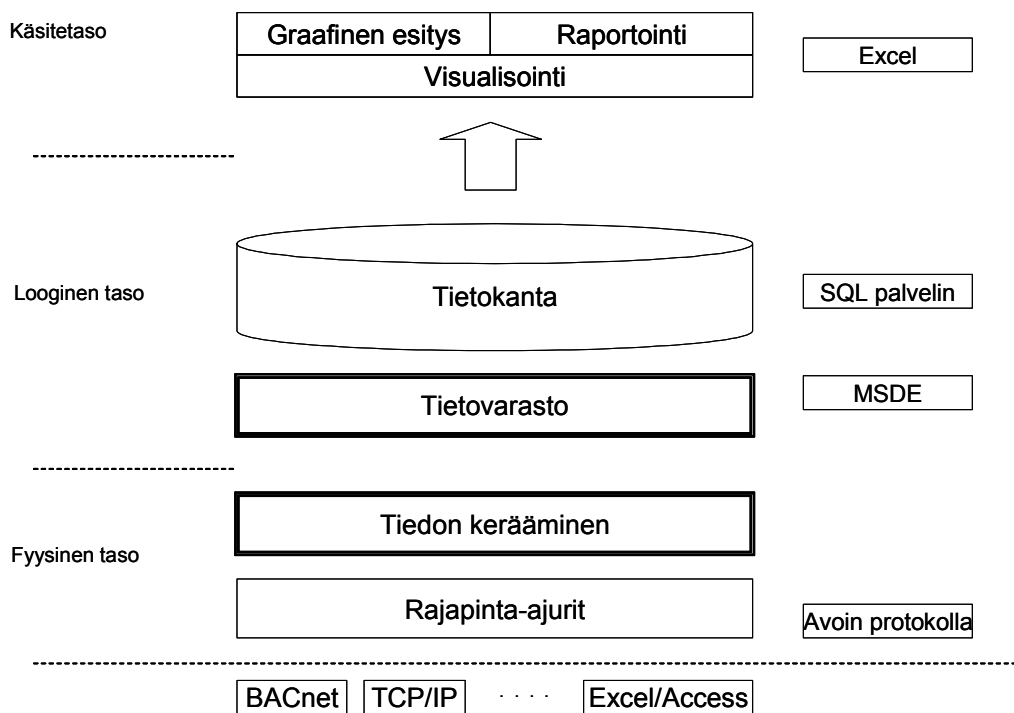
Rakennuksen sisäilmasto-olosuhteet on määritelty LVI-työselostuksen tavoiteasetannassa. Energiataloudellista ylläpitoa toteutetaan laitoksen oikean toimivuuden varmistamisella ja säännöllisellä huollolla. Rakennusautomaatiolla voidaan vaikuttaa kiinteistön energiataloudellisuuteen esimerkiksi ilmastoinnin käyttöaikojen hallinnalla ja LTO-hyötysuhteiden valvonnalla. Kaiken kaikkiaan rakennusautomaatiojärjestelmä on keskeinen työkalu, jolla voidaan vaikuttaa rakennuksen käyttäjien tyytyväisyyteen olosuhteiden sekä järjestelmien suoritustason kattavalla tietämyksellä ja hallinnalla. Hyödyntämisen kannalta keskeisiä perusohjelmistoja ovat (ST-kortisto)

- hälytyskäsittely
- energiaseuranta
- mittaushistoria
- trendiseuranta
- hyötysuhdelaskenta
- tehonrajoitusten käyttö
- käyntiaikalaskenta ja -valvonta
- laitteistojen ja kiinteistöjen suojaus häiriötilanteissa
- mittaus tietojen hyödyntäminen talotekniikan ohjauksissa
- hälytyshistorian hyödyntäminen huollossa ja ylläpidossa.

Sumitomo ja Yamamoto (2003) tunnistavat kolme rakennusautomaatiojärjestelmän tärkeää ominaisuutta:

- avoin alusta, johon voidaan tuoda ja josta voidaan hakea minkätyyppistä dataa tahansa
- graafikokoelma sekä aikasarjakuvien että analyttisten kaavioiden tuottamiseen
- räätälöidyt toiminnot, jotta käyttäjä voi joustavasti analysoida järjestelmien toimintaa.

Rakennusautomaatiojärjestelmän avoin järjestelmäarkkitehtuuri mahdollistaa pääsyn kaikkiin rakennuksen järjestelmiin, kuten LVI-, valaistus-, sähkö- ja turvallisuusjärjestelmiin. Silloin rakennusautomaatiojärjestelmän tietokanta pitää luoda ohjelmistoilla ja protokollilla, joita kaikki käyttäjät ja laitetoimittajat voivat käyttää (Sumitomo & Yamamoto 2003). Tällöin rakennusautomaatiojärjestelmän tietokannassa on kolme kerrosta (Kuva 38).



Kuva 38. Rakennusautomaatiojärjestelmän tietokannan kolme kerrosta (Sumitomo & Yamamoto 2003).

5.3.2 Rakennusautomaation hyödyntäminen ToVa-toiminnassa

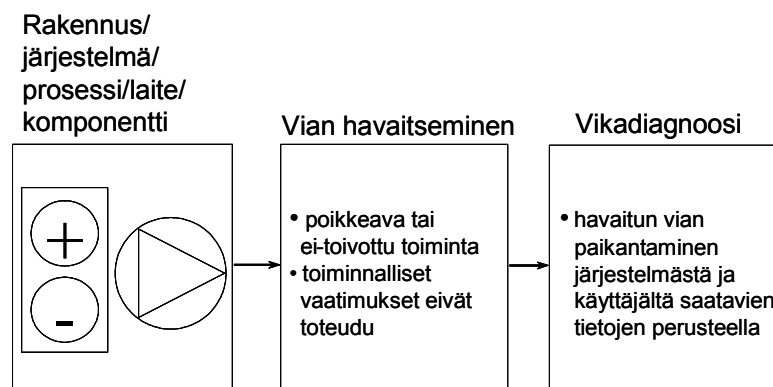
Nykyisin eri talotekniikkajärjestelmien oikean toiminnan varmistaminen tehdään järjestelmäkohtaisesti käyttäen manuaalisia työkaluja. Toiminnan varmistaminen pilkkoutuu alusta lähtien moneen osaan, mikä johtaa järjestelmäkohtaiseen osaoptimointiin. Uuden ToVa-systematiikan yhtenä tärkeänä tehtävänä on muodostaa yhteinen hyvä käytäntö

järjestelmien suunnittelun ja toteutuksen tueksi. Rakennusprojektin läpiviennissä keskiytetään myös top-down-näkökulmaan, jossa päätavoitteena on tavoiteasetannan mukaisesti toimiva kokonaisuus.

Rakennusautomaatiota hyödyntävät ToVa-menetelmät liittyvät pääasiassa rakennuksen käytönaikaiseen, jatkuvaan, oikean toiminnan seurantaan ja todentamiseen sekä vikojen, virhetoimintojen ja ei-toivotun toiminnan havaitsemiseen ja paikantamiseen. Käytännössä kyseessä ovat siis yleensä rakennuksen ja sen järjestelmien vikadiagnostiikkamenetelmät. Olemassa olevien rakennusten energianhallinnan optimoinnissa rakennusautomaatiota hyödyntävää ToVa-toimintaa voidaan hyödyntää myös talotekniikkalaitteiden ja -järjestelmien tehokkuuden arviointiin (Sumitomo & Yamamoto 2003).

Tapauksesta ja käyttäjäryhmästä riippuen rakennusautomaatiota hyödyntävät ToVa-menetelmät voivat kohdistua rakennusmassaan, yksittäiseen rakennukseen, järjestelmään, prosessiin, laitteeseen tai komponenttiin. Rakennusmassaa käsittelevät menetelmät on tyypillisesti tarkoitettu henkilöille, jotka tarvitsevat suhteellisen karkean tason tietoa useasta eri rakennuksesta. Yksittäiseen laitteeseen liittyviä ToVa-menetelmiä taas hyödyntävät lähinnä laitteiden päivittäishuollosta ja -ylläpidosta vastaavat henkilöt.

Kuva 39 havainnollistaa vikadiagnostiikkaprosessia. Tapauksesta riippuen rakennuksesta, järjestelmästä, prosessista, laitteesta tai komponentista saadaan mittaus- tai muuta tietoa, jonka perusteella voidaan havaita poikkeava tai ei-toivottu toiminta, jolloin asetetut toiminnalliset vaatimukset eivät toteudu. Jos havaittu vika pystytään paikantamaan, on kyseessä varsinainen vikadiagnosi.



Kuva 39. Vikadiagnostiikkaprosessi (Kärki & Karjalainen 1999).

Systematiikan tehokas läpivienti isoissa rakennushankkeissa voidaan varmistaa hyödyntämällä jo olemassa olevia ICT-pohjaisia toiminnanohjausjärjestelmiä. Myös avoimet rakennusautomaatiojärjestelmät tarjoavat hyvän tietojenkäsittelyalustan ja uusia mahdollisuuksia systematiikan joidenkin osien automatisointiin. Oikein toteutettuna systematiikan osittainen automatisointi tarjoaa mahdollisuuksia alentaa käytännön ToVa-

toiminnan kustannuksia ja tätä kautta edesauttaa ToVa-toiminnan laajempaa käyttöönottoa. Manuaalisen ToVa-toiminnan automatisoinnilla luodaan myös hyvät edellytykset rakennuksen jatkuvalla koko elinkaaren aikaiselle ToVa-toiminnalle.

Ideaalissa automatisoidussa ToVa-prosessissa erilaisissa toimivuuden varmistusaktiiviteeteissa tarvittavaa dataa saadaan sähköisesti suunnitteludokumenteista (Brambley et al. 2002). Lopulta suurin osa projektitiedoista esitetään standardissa tiedostoformaattissa ja saadaan sähköisesti. Tätä tutkitaan parhaillaan IAI:n (International Alliance for Interoperability, <http://www.iai-international.org/>) ja muiden organisaatioiden projekteissa.

ToVa-toimintaa ajatellen mielenkiintoista dataa voisi olla (Brambley et al. 2002) esimerkiksi

- tarvittava data tiettyjä toiminnallisia testejä varten
- tarvittavat mittaukset varmistamaan, että asennetut laitteet ja järjestelmät täyttävät suunnitteludokumenteissa esitetyt vaatimukset
- data, jota ei tarvita tiettyä suunniteltua toiminnallista testiä varten, mutta jota saataan tarvita tulevaisuuden ToVa-prosesseissa
- data, jota ei tarvita mitään tiettyä testiä varten, mutta joka on ToVa-agentille mielenkiintoinen järjestelmän toiminnan ymmärtämiseksi tai todennettaessa oletuksia siitä, kuinka järjestelmän pitäisi toimia.

Vaikka nykyiset rakennusautomaatiojärjestelmät keräävät lähes kaiken mitattavissa olevan tiedon rakennuksista, tietoja ei osata hyödyntää täysimääräisesti rakennuksen suorituskyvyn optimointiin ja energian säästämiseen. Uudet rakennusautomaatiojärjestelmät sisältävät tehokkaan ja vapaasti ohjelmoitavan tietojenkäsittelyjärjestelmän, johon on mahdollista kehittää uusia ohjelmia tai liittää erillisiä rinnalla toimivia ohjelmistokomponentteja. Yhtenä suurena haasteena onkin kehittää uusia ohjelmistotyökaluja helpottamaan ja automatisoimaan rakennusten mittaustietojen keruuta, käsittelyä ja analysointia.

Kehityssuunta edellyttää kuitenkin avoimien järjestelmäratkaisujen ja uusien standardien rajapintojen laajempaa käyttöönottoa, jotta ohjelmistokehityskustannuksia saataisiin tulevaisuudessa painettua kilpailukykyiselle tasolle. Nykyisten suljettujen automaatiojärjestelmien räätälöinti tai ohjelmistointegrointi tulee useimmissa rakennushankkeissa aivan liian kalliiksi verrattuna niistä saataviin hyötyihin. Vapaa kilpailu ja ohjelmistotuotteiden modulaarinen yhteensovittaminen edellyttääkin avoimen teknologiastrategian valitsemista tulevaisuudessa.

Rakennusautomaatio ToVa-toiminnassa – tuloksia suomalaisesta haastattelututkimuksesta

Tutkimuksen alussa haastateltiin suomalaisia rakennusalalla toimivien yritysten työntekijöitä, jotka ovat olleet pitkään tekemisissä rakennusautomaation kanssa (Nyman et al. 2005). Tutkimuksessa ilmenneitä tärkeitä taloteknisten järjestelmien oikean toiminnan todentamiseen liittyviä tavoitteita olivat rakennusten energiatoimivuuden optimointi, viihtyisyyden sekä antureiden, toimilaitteiden ja järjestelmien oikean toiminnan varmistaminen.

Haastatteluissa todettiin, että kaikkein tärkeimmät ongelmat, jotka pitäisi havaita hyödyntäen rakennusautomaatiota, ovat

- virheellinen viritys ja säädön epästabiilius
- anturien rikkoutuminen ja kytkentävirhe
- pumppuvika
- ongelmat, jotka aiheuttavat totaalista toimimattomuutta tai vahinkoa rakennuksessa.

Keskeiset puutteet nykyisissä rakennusautomaatiojärjestelmissä ToVa-toimintaa ajatellen ovat seuraavat:

- Jatkuvaan tiedonkeruuseen kehitetyt järjestelmät on kehitetty suurten rakennusten hallintaan, joten ne ovat liian kalliita käytettäväksi pienissä rakennuksissa.
- Vikadiagnostiikkaa tukevissa järjestelmissä ohjeistukset ovat puutteellisia ja epäselviä.
- Käyttöliittymät on tehty liian pelkistetyiksi.
- Säädön viritykseen liittyviä tietoja on usein vaikea lukea ja ymmärtää.
- Energianseurannassa (keskituntiteho) mittareiden lukua olisi kehitettävä siten, että voitaisiin seurata mittareiden oikeita mittaustuloksia. Nyt seurataan impulsseja, jotka aiheutuvat tietyistä ylityksistä.

Esimerkkejä rakennusautomaation hyödyntämistavoista ToVa-toiminnassa

Kaikkiin rakennusautomaatiojärjestelmän käyttötarkoituksen laajentamiseen liittyviin suunnitelmiin on käytännössä sitouduttava jo rakennushankkeen alkuvaiheessa, jotta kustannukset voidaan upottaa osaksi rakennusautomaatiourakkaa. Suunnitelmat on kirjattava asianmukaisesti työselostuksiin omaksi kohdaksi. Seuraavassa keskitytään ideoimaan uusia rakennusautomaatiopohjaisia ToVa-menetelmiä rakennuksen ja sen järjestelmien oikean toiminnan varmistamisen tueksi. Oikein käytettynä rakennusautomaatiojärjestelmät ovat tehokkaita työkaluja, joiden avulla voidaan automatisoida ToVa-toimintaa, parantaa ToVa-toiminnan luotettavuutta ja helpottaa rakennusten jatkuvaa seurantaa. Menetelmiä on kehitetty aikaisempien tutkimusten ja pilottikohteista saatujen käytännön mittaustietojen ja kenttäkokemusten pohjalta.

Olosuhdemittausesimerkki

Suunnitelmassa toteutetaan pilottikohteena olevaan peruskouluun olosuhteiden seurantajärjestelmä. Seurantajärjestelmää varten valitaan kaksi normaalikäytössä olevaa luokkahuonetta, joihin asennetaan tarvittava määrä mittaustureita haluttujen suureiden mittaamiseksi. Kaikki anturit liitetään osaksi rakennusautomaatiojärjestelmää, jolloin mittausjärjestelyn avulla huoneolosuhteita voidaan tarkkailla reaaliaikaisesti. Kaikki olosuhdeseurannassa tarvittavat mittaustiedot asetetaan myös jatkuvaan seurantaan ja kerätään keskitetysti kiinteistön valvomotietokoneeseen tietyin näytevälein, jolloin historiatietoa voidaan tarkastella jälkikäteen. Historiatiedot voi esittää esimerkiksi kuvan 40 esittämässä muodossa.

Trendiseuranta: Alkaa: 23.4.2004 11:02:40						
Seurantapiste: Päätyy: 23.4.2004 23:59:40						
		Läsnäolo	Asetusarvo	Lämpötila	Lämmitys%	Jäähdytys%
Päiväys	Aika	Arvo	Arvo	Arvo	Arvo	Arvo
23.4.2004	11:02:40	1,00	24,09	22,94	0,00	0,00
23.4.2004	11:03:10	1,00	24,08	22,94	0,00	0,00
23.4.2004	11:03:40	1,00	24,08	22,94	0,00	0,00
23.4.2004	11:04:10	1,00	24,09	22,94	0,00	0,00
23.4.2004	11:04:40	1,00	24,09	22,94	0,00	0,00

Kuva 40. Esimerkinäyttö.

Mittausjärjestelyn avulla voidaan seurata kohteeksi valitun tilan olosuhteiden muutoksia ja valvoa, että olosuhteita ohjaavat tekniset järjestelmät toimivat moitteettomasti asetettujen tavoitteiden mukaisesti. Mittaustietojen muutosten perusteella voidaan analysoida esimerkiksi toimilaitteiden ohjauslogiikkaa tai käyttäjien tekemien asetusten vaikutusta olosuhteisiin rakennuksen ylläpitovaiheessa. Tämä mahdollistaa jatkuvan ToVa-toiminnan harjoittamisen ja mahdollisten parannustoimenpiteiden suorittamisen esimerkiksi teknisten laitteiden ohjauksiin tai käyttäjien ohjeistamiseen. Yhdestä tilasta saatuja tuloksia voidaan hyödyntää myös muiden tilojen olosuhteiden parantamiseen ja energiankulutuksen optimointiin.

Perusjärjestelyssä kaikkien mittaustureiden suureiden arvoja voidaan tarkastella suoraan automaatiojärjestelmän tietokannasta tai siirtää muihin ohjelmistoihin jatkokäsittelyä varten. Seuraavassa luetellaan myös muutamia esimerkkejä siitä, minkälaisia toimintoja automaatiojärjestelmän valvomoon voidaan määrittää olosuhteiden ohjaamiseksi ja mittaustietojen käsittelemiseksi:

- graafisen käyttöliittymän generointi
- visuaalinen mittaustietojen trendiseuranta reaaliaikaisesti

- olosuhteiden ohjaaminen
- hälytysten generointi
- raporttien generointi.

Olosuhteita voidaan seurata myös yhdessä niihin vaikuttavien keskeisten ohjausten kanssa ja siten paljastaa rakennuksen epänormaali käyttö (Paiho et al. 2000). Rakennuksen vikojen havaitsemiseen ja paikantamiseen tarkoitettun seurantajärjestelmän prototyyppi asennettiin ammattioppilaitokseen. Huonelämpötilaan vaikuttavia ohjauksia olivat tuloilman lämpötilan säätö ja patteriverkoston lämpötilan säätö, joiden molempien asetusarvoja muutettiin kompensointikäyrien perusteella. Olosuhdeseurannassa seurattiin huonelämpötiloja, tuloilman ja patteriverkoston menoveden lämpötiloja ja kaikkien edellä mainittujen asetusarvoja. Halutessaan käyttäjä saattoi valita näkyviin myös säätökäyrät ja mittauspisteiden sijoittumisen säätökäyriin nähden. Näiden tietojen ja vikadiagnostiikkaohjelman avulla käyttäjä voi päätellä, onko väärän huonelämpötilan syynä säätökäyrien väärä asento. Sovellus sisälsi myös ohjeita siitä, mitä säätökäyristä tulisi korjata ja miten.

Käyttöraportti

Rakennuksen ylläpitovaiheessa automaatiojärjestelmä kerää mittaustietoja, joita voidaan hyödyntää esimerkiksi edellisen esimerkin olosuhdeseurannassa. Tämän tyyppisiä palveluita varten tarvitaan kuitenkin erillinen tietylle käyttäjäryhmälle suunnattu raportti, jonka käyttöliittymä voi sijaita esimerkiksi rakennusautomaatiojärjestelmän valvomo-koneella tai erillisen web-pohjaisen kiinteistön huoltokirjapalvelun yhteydessä.

Yksi tarpeellinen esiin tullut raporttityyppi on ns. käyttöraportti, josta nähdään yksiselitteisesti rakennuksen reaaliaikainen tila valittujen tunnuslukujen avulla. Tunnusluvut muodostetaan automaatiojärjestelmästä kerättyjen mittaustietojen perusteella.

Käyttöraporttimalli luodaan jo ennen käyttöönottovaihetta. Käyttöraportin (vertailukoh-tana teollisuuden käyttöraportit) tulee sisältää sellaista käyttäjälle tai omistajalle suunnattua tietoa, jonka perusteella rakennuksen tila, kulutukset ja trendit selviävät riittävän hyvin.

Käyttöraportti voi olla viikko- tai kuukausikohtainen ja sisältää kaikki kulutustiedot, mukaan lukien myös kiinteistöhoito- ja siivouskulut. Rakennuksen käyttäjän, kiinteis-tönhoidosta vastaavan tai omistajan intressissä tulisi siten olla rakennusautomaatiojär-jestelmän tuottama käyttöraportti, josta selviävät

- kulutus- ja kustannusjakauma vuosi-/kuukausi-/viikkokohtaisesti
 - €/yksikkö
 - määrä (kWh, m³/yksikkö)

- trendit
- vertailu tavoitetasoon / muihin vastaaviin rakennuksiin
- korrelaatio sääolosuhteisiin (poikkeamat näkyvät selvästi)
- jaottelu tarvittaessa rakennuksen eri osien tasolle / järjestelmätasolle.

Rakennuksen instrumentointia suunniteltaessa energiatehokkuuteen ja olosuhteisiin sekä yleisemmin rakennuksen käyttöön liittyvät keskeiset tekijät tulee ottaa huomioon, esimerkiksi

- sähkön kokonais- ja alamittaukset
- IV-koneiden pääilmavirrat
- jäteilmän lämpötila
- LTO:n tehokkuus.

Siten rakennuksesta voidaan muodostaa energiatase, olosuhteita voidaan nopeasti verrata tavoitearvoihin, ja laajemmalla tasolla kiinteistön kustannusjakauma on selvillä.

Käyntiaikaraportti

Tuloilmakoneiden käyntiaikaraportteja voitaisiin suoraan hyödyntää virheellisen toiminnan havaitsemisessa, koska koneiden käyttötapa vaikuttaa merkittävästi rakennuksen energiankulutukseen (Paiho et al. 2000). Toimintoon voitaisiin liittää myös ohjeistus siitä, miten käyntiaikoja pitäisi tarvittaessa muuttaa.

Säätöpiirien toiminta

Säädön huono toiminta voi johtaa merkittävään energiantuhlaukseen. Siksi säätöpiirien toimintaa olisi hyvä seurata joko jatkuvasti tai esimerkiksi laitteiden käynnistyksen yhteydessä. Paiho et al. (2000) seurasivat koekohteessa ilmastointikoneen ja patteriverkostojen säätöpiirien toimintaa sekä lämpimän käyttöveden lämpötilan säätöä.

Taloteknisten järjestelmien käytön, huollon ja vian etsinnän tukipalvelu

WebDia on WWW-ympäristö (<http://webdia.vtt.fi>), jota voidaan hyödyntää kaukolämpö- ja öljylämmityskeskusten sekä sähkölämmitysjärjestelmien käytön, huollon ja vika-diagnostiikan apuvälineenä (Pakanen et al. 2001). WebDian käyttö on mahdollista tavanomaisesta Internet-liitännällä varustetusta PC:stä, standardiselaimella varustetuista kannettavista tietokoneista ja PDA-laitteista ja WAP-matkaviestimistä. Palvelu sisältää esimerkiksi tiedot kaukolämmön lämmönjakokeskuksen 25 yleisimmästä viasta ja niiden mahdolliset syyt, joita huoltomies voi nopeasti hyödyntää järjestelmän vian paikantamisessa.

6. Toimivuuden varmistamisen visio ja tulevaisuuden mahdollisuudet

Yhdysvalloissa tehdyssä laajassa selvitystutkimuksessa analysoitiin 224 kaupallisessa rakennuksessa tehtyjen toimivuuden varmistustoimenpiteiden kustannustehokkuutta (Mills et al. 2004). Olemassa olevissa rakennuksissa ToVa-kustannusten mediaani oli 2,9 \$/m², rakennustason energiansäästö oli 15 % ja takaisinmaksuaika oli 0,7 vuotta. Uudisrakennuksissa mediaanikustannus oli 10,8 \$/m² (0,6 % kokonaisrakennuskustannuksista) ja sitä vastaava takaisinmaksuaika oli 4,8 vuotta. Samoin Yhdysvalloissa on havaittu, että käyttökustannukset ovat 8–20 % alhaisemmat sellaisissa rakennuksissa, joissa on tehty ToVa-toimenpiteet, kuin sellaisissa rakennuksissa, joissa niitä ei ole tehty (GSA Public Building Service 2005).

USA:n selvitystutkimuksessa havaittiin, että kaupallisissa rakennuksissa ToVa on yksi kustannustehokkaimmista keinoista parantaa energiatehokkuutta (Mills et al. 2004). Uudisrakennuksissa ToVa liittyy energiansäästöä voimakkaammin ei-energiatavoitteisiin, kuten yleiseen rakennuksen toimintaan, termiseen viihtyisyyteen ja sisäilman laatuun, kun taas olemassa olevissa rakennuksissa korostuvat energiansäästötavoitteet (Sullivan et al. 2004). Selvitystutkimuksessa suurin kustannustehokkuus saavutettiin energiain-tensiivisissä laitoksissa, kuten sairaaloissa ja laboratorioissa (Mills et al. 2004). Eniten ongelmia oli ilmankäsittelyjärjestelmissä, ja yleisimmin korjaavat toimenpiteet keskitivät käyttövaiheeseen ja säätöön.

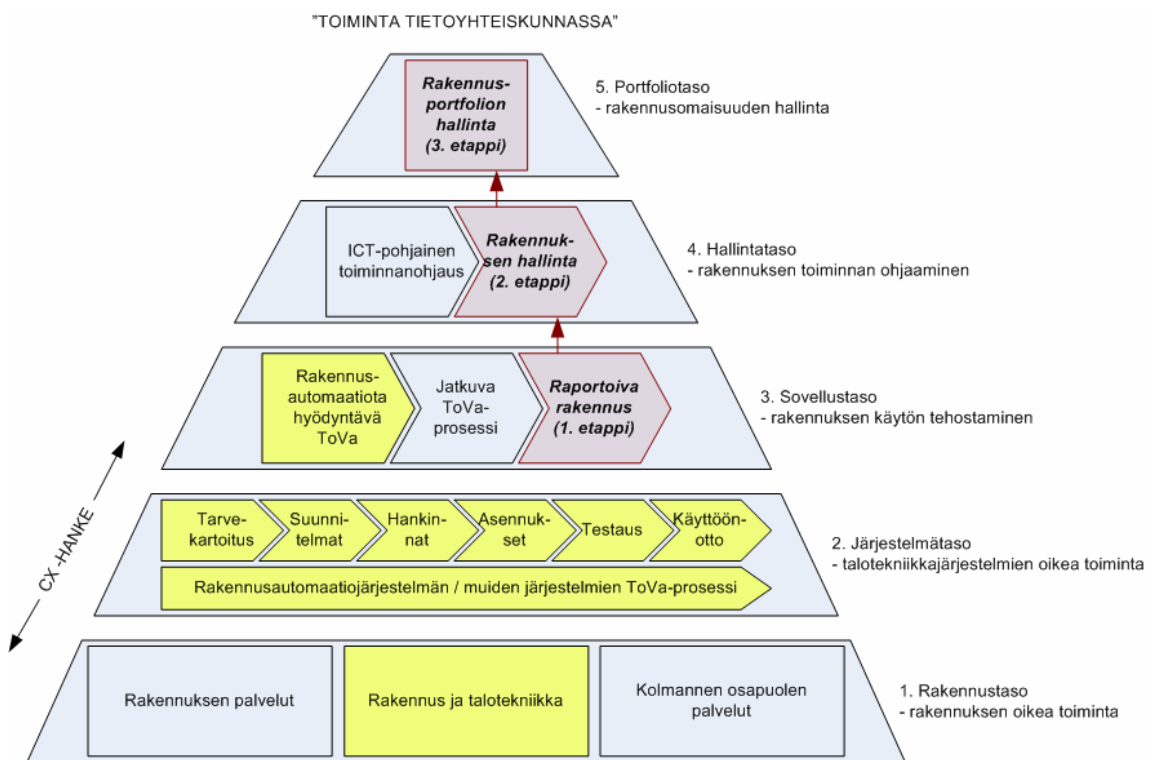
USA:ssa on arvioitu, että ToValla saavutetaan seuraavia etuja (GSA Public Building Service 2005):

- rakennusten käyttäjien parempi tuottavuus
- alhaisemmat energiakustannukset
- tyytyväisemmät rakennusten käyttäjät ja omistajat
- parantuneet ympäristö- ja terveysolosuhteet ja käyttäjätyytyväisyys
- järjestelmien ja laitteiden parempi toiminta
- parantunut rakennuksen käyttö, huolto ja ylläpito
- parantunut käyttäjien turvallisuus
- parempi dokumentointi
- lyhentynyt käyttäjien siirtymäaika
- merkittävä laitteiden ja järjestelmien elinkaaren pidentyminen.

Toimivuuden varmistamisen tulevaisuuteen vaikuttaa olennaisesti yritysten toimintaympäristön muutos. Uusimpia tieto- ja viestintä- sekä ohjelmistoteknologioita hyödyntäen on mahdollista kehittää erilaisia energia- ja kiinteistökustannusten monitoroinnin avoimia Internet-pohjaisia palvelualueita ja -konsepteja, jotka mahdollistavat kiinteistön-

hallinnan kustannusten seurannan koko rakennuskannalle. Hyödyntämällä kehittyneitä tiedonkäsittely-, mittaus- ja raportointitekniikoita voidaan energiankäytön tehostamiseen kehittää uudentyypisiä palveluja. Niiden avulla voidaan tuoda merkittävää lisäarvoa ja -käyttöä olemassa oleville järjestelmille ja niihin kertyville tiedoille, joiden ylläpitoon joudutaan jatkuvasti käyttämään huomattavia resursseja.

Kuvassa 41 on tämän hankkeen pohjalta kehitetty 5-portainen tasomalli, jossa alaa tarkastellaan pyramidin huipulta rakennusomaisuuden hallinnan näkökulmasta. Tarkoituksena on hahmottaa ne tärkeät askeleet, jotka ovat kriittisiä koko arvoketjun toiminnan tehostamiselle. Keltaisella esitetään tämän hankkeen tutkimusalueiden kytkeytyminen kokonaisuuteen.



Kuva 41. Perinteisestä rakentamisesta kohti tietoyhteiskuntaa.

Portfoliotasolla (5) alan katsotaan kuuluvan osaksi finanssimarkkinoita, joissa kiinteistöt nähdään osana sijoittajan portfoliota. Rakennusomaisuuden hallinnan liikkeelle panevana voimana toimivat pääoman tuottovaatimus ja kiinteistöt kiinnostavana sijoituskohteena. Tuottolähtöinen ajattelu pakottaa koko arvoverkoston sijoittajasta rakennuksen loppukäyttäjään asti tehostamaan toimintaansa. Edellytyksenä on, että koko rakennusmassasta saadaan tosiaikaista tietoa rakennuksien tuottoa kuvaavista keskeisistä tunnusluvuista.

Hallintatasolla (4) toimintaa tarkastellaan yksittäisen rakennuksen kannalta. Yksittäisen rakennuksen kokonaisvaltainen hallinta edellyttää joko nykyisten toiminnanohjausjärjestelmien tai edistyneiden rakennusautomaatiojärjestelmien tehokasta hyödyntämistä. Rakennuksessa käytetty teknologia on kyettävä integroimaan toimivaksi, kommunikoiivaksi kokonaisuudeksi, jotta raportoivan rakennuksen toimintamalli olisi mahdollinen.

Sovellustasolla (3) käsitellään rakennuksen käytön tehostamisen edellytyksiä. Uusin rakennusautomaatio toimii teknologisenä alustana ja infrastruktuurina, jonka päälle rakennetaan toimiva talotekninen kokonaisuus. Rakennuksen toimivuuden takeeksi hyödynnetään mahdollisimman pitkälle automatisoituja toiminnan varmistaminen menetelyjä. Automatisointi voidaan tehdä joko rakennusautomaatiojärjestelmää tai muita ICT-pohjaisia toiminnanohjausjärjestelmiä hyödyntäen.

Järjestelmätasolla (2) keskitytään talotekniikkajärjestelmien oikean toiminnan varmistamiseen hankkeessa kehitettyjä menetelmiä hyödyntäen. Rakennustasolla (1) tarkastellaan teknisiä ratkaisuja ja palveluja koko rakennuksen oikean toimivuuden kannalta.

Tämän hankkeen puitteissa ToVa-toiminnan käsittely on keskittynyt tasoille (1) ja (2), mikä tukee parhaiten nykyisiä rakennusprosessin käytäntöjä. ToVa-toiminta on väistämättä ulotettava myös ylemmille tasoille, mikäli sen avulla halutaan tehostaa rakennuksen toimintaa kokonaisvaltaisesti. Tämä edellyttää arvatenkin rakenteellisia muutoksia etenkin markkinoissa, toimintamalleissa, asenteissa, uusien teknologioiden käyttöön-otossa ja sijoittajien tuotto-odotuksissa.

Hankkeen tutkimuksessa pääpaino oli uudisrakentamisessa. Korjausrakentamisen ToVa vaatisi vastaavaa systematiikkaa sovellettuna korjausrakentamisen erityispiirteisiin. Samoin käyttö- ja ylläpitovaiheen ToVa menetelmiseen edellyttäisi esitettyä tarkempaa analysointia. Myös käyttö- ja ylläpitovaiheen ToVa-menetelmissä sekä niiden automatisoinnissa olisi paljon jatkokehitettävää. Automatisointiin liittyen rakennuksen instrumentointi on yksi avainkysymys, jota pitäisi selvittää muutenkin kuin sähkön mittaamiseen liittyen. Lisäksi on välttämätöntä seurata alan kansainvälistä kehitystä varsinkin USA:ssa, jossa ToVa-toimintaa on harjoitettu pitkään. Suomesta puuttuu kansallinen tieto ToVa-toiminnan kustannuksista ja saavutettavissa olevista hyödyistä.

ToVa-systematiikan ”ajaminen” käytäntöön vaatii myös paljon ponnisteluja. Tässä voivat olla avuksi erilaiset soveltajakohtaiset räätälöinnit, lisäpalvelut jne. ToVa-prosessin tulisi olla osa laadunvarmistusmenettelyä, ja sen täytyisi jatkossa sisältää sekä energia- tehokkuus- että olosuhdekriteerit ja niiden varmistaminen. ToVan olisi nivellyttävä olemassa oleviin menettelytapoihin, mutta nykykäytäntöjä pitäisi myös pystyä muuttamaan siten, että ToVa olisi järkevää ja myös mahdollista. Mikäli ToVa-toiminta liima- taan yhdeksi uudeksi sarjaksi toimintoja entisten olemassa olevien toimintojen päälle,

on riskinä, ettei ToVa-toiminnan hyötyjä saada realisoitua. Pahimmassa tapauksessa ToVa-toimenpiteet kirjataan tehdyksi ilman asioiden asianmukaista varmentamista. Samalla kasvatetaan esimerkiksi työmaakokousten määrää ja byrokratiaa. Myös rakentamisprosessin pilkkoutuminen erilaisiin alaurakoihin saattaa vaikeuttaa ToVa-toimintaa käytännössä. ToVa-toiminta tulisi ajaa käytäntöön vaiheittain ja menettelytapoja tulisi tarkentaa ja kehittää siten, että hyödyt voitaisiin saavuttaa riittävän lyhyellä aikavälillä.

Hankkeen tutkimuksissa nousivat erityisesti esille seuraavat rakennus- ja kiinteistöalan kehittämistä koskevat muutostarpeet:

- tilaajan vaatimusten tarkentaminen
- suunnittelukäytäntöjen tarkistaminen integraation parantamiseksi
- ToVa-menettelyn liittäminen laadunvalvontaan ja päinvastoin
- ToVa-prosessin sisäänajo ja kehittäminen
- instrumentoinnin kehittäminen
- mittaus- ja varmentamismenettelyjen kehittäminen
- rakennusautomaatiojärjestelmien nykyistä parempi hyödyntäminen
- rakentamismääräysten kehittäminen sille tasolle, että niistä saataisiin tukea olosuhteiden ja energiatehokkuuden arviointiin
- huoltokirjojen toimivuuden parantaminen ja käytettävyyden parantaminen
- koulutuksen laadun ja määrän lisääminen.

ToVa-toiminnan käytäntöön ajaminen vaatii sekä rakennusosalta että julkiselta sektorilta toimenpiteitä. ToVa-toiminta tulisi jatkossa sertifioida (tai ainakin selvittää mahdollinen sertifiointitarve) ja yhdenmukaistaa riittävällä tasolla energiakatselmustoiminnan mukaisesti. Alalle syntyy todennäköisesti yritystoimintaa, jolloin on oltava valmiit pelisäännöt toimivuuden varmistusmenettelyä varten. ToVa-menettelystä ei saa tulla rakennusprosessiin liittyvää uutta palveluketjua, joka nostaa rakennuskustannuksia tuottamatta mitään todellista hyötyä.

7. Yhteenveto

Rakennusten ja niiden talotekniikkajärjestelmien tulisi olla mahdollisimman hyvin suunniteltuja ja toimia hyvin koko rakennuksen eliniän. Tämä on omistajien ja käyttäjien luonnollinen tarve. Käytännössä uusienkin rakennusten järjestelmiin jää usein vikoja ja toimivuudessa ilmenee puutteita, jotka lisäävät energiankulutusta ja heikentävät sisäilmaston laatua. Vanhoissa rakennuksissa havaitaan jatkuvasti jopa terveysriskejä aiheuttavia vikoja eri järjestelmien toimivuudessa, ja rakennusten energiankulutus on pääsääntöisesti merkittävästi uudistuotantoa korkeampi.

Rakennusten, tilojen ja teknisten järjestelmien toimivuusvajeisiin ja korkeaan energiankulutukseen on löydettävissä lukemattomia eri tekijöitä. Keskeinen yhdistävä johtopäätös on ollut, että sisäilmasto- ja energiatehokkuusvastuu on hyvin hajallaan rakennusten suunnittelu- ja rakentamisprosessien aikana eri suunnittelijoilla, urakoitsijoilla ja toimittajilla. Tähän liittyvät vielä käytössä olevien rakennusten hoidon ja korjausten laiminlyönnit.

Rakennusten paremman sisäilmaston ja energiatehokkuuden saavuttamiseksi on havaittu välttämättömäksi nimetä rakennushankkeeseen henkilö, jonka tehtävänä on johtaa sisäilmaston ja energiatehokkuuden toteutusta hankkeen alusta alkaen. Kysymys on Commissioning (Cx) -toiminnasta eli laadunvarmistusprosessista, jonka päätarkoituksena on saada hankkeissa toimivat suunnittelijat, urakoitsijat ja toimittajat tekemään jatkuvaa yhteistyötä keskenään tavoitteenaan hyvä sisäilmasto ja energiatehokas rakennus järjestelmineen.

Commissioning-termin (Cx) kotimaiseksi vastineeksi on valittu Toimivuuden Varmistaminen (ToVa). Sillä tarkoitetaan prosessia, joka käynnistetään jo rakennushankkeen tavoitteita asetettaessa ja jossa tarkistetaan

- tilaajan vaatimuksien ja käyttäjien tarpeiden kattavuus
- rakennuksen suunnitelmat ja niiden toteutus sisältäen sisäilmasto- ja energiatehokkuusvaatimukset
- osapuolien ratkaisut ja toimenpiteet hankkeen eri vaiheissa
- se, että rakennus saavuttaa asetetut sisäilmasto- ja energiatehokkuustavoitteet käytössä.

Toimivuuden varmistaminen jatkuu suunniteltuina säännöllisinä varmistustoimina kiinteistön käytön ajan.

ToVa-toiminnan tavoitteena on

- taata turvalliset, terveelliset ja miellyttävät asuin-, toimisto- yms. tilat

- parantaa suunnittelun tasoa tehokkaan palautteen avulla
- parantaa rakennuksen ja sen järjestelmien energiatehokkuutta
- pienentää käyttökustannuksia
- parantaa käyttö- ja huoltohenkilöstön perehtyneisyyttä ja koulutusta
- parantaa dokumentaatiota rakentamisen aikana ja kiinteistön hoidossa
- kohdata asiakkaan tarpeet (luoda palautekanava asiakkaiden tarpeille).

ToVa-toiminnan periaatteet ovat seuraavat:

- Rakennushankkeet tarvitsevat ToVa-vetäjän, joka vastaa sisäilmasto- ja energiatehokkuustavoitteiden toteuttamisesta.
- ToVa-vetäjä suunnittelee tavoitteet, tehtävät ja valitsee menetelmät toimivuuden varmistamisprosessille.
- Suurissa hankkeissa ToVa-vetäjän tiimissä voi olla useampia henkilöitä.
- Pienissä hankkeissa ToVa-toiminta on luontevaa vastuuttaa esim. suunnittelijalle, jolla on hyvä kokemus sisäilmasto- ja energiatehokkuusnäkökulmasta.
- Rakennuksen hyvä sisäilmasto ja energiatehokkuus saavutetaan samoilla järjestelmillä. Sisäilmaston ja energiatehokkuuden hallinnan kannalta rakennuksen järjestelmien integrointi suunnittelussa ja toteutuksessa on keskeinen keino.
- Tilaajan ja käyttäjien tavoitteet on tarkistettava ennen suunnitteluvaiheen käynnistämistä.
- Pääsuunnittelijan ja ToVa-vetäjän tulee tarkistaa suunnittelutavoitteet suunnitteluvaiheen alussa.
- Hankkeiden suunnitteluryhmät tulisi koota kokonaisuudessaan ennen suunnittelun käynnistämistä eikä suunnittelija kerrallaan.
- Rakennuksen sisäilmasto- ja energialaskenta on perusteltua käynnistää jo luonnos-suunnitteluvaiheessa.
- Käyttö- ja huoltokirjojen suunnittelu ja laadinta on käynnistettävä suunnitteluvaiheen alusta alkaen.
- Rakennusten mittaroinnin ja sähköverkon jäsentelyn suunnittelu on aloitettava jo suunnittelun alkuvaiheessa.
- Rakennusautomaation suunnittelu on tarpeellista käynnistää rinnan muiden suunnittelualojen kanssa.
- Sisäilmasto- ja energiatehokkuustavoitteet on sisällytettävä kattavasti ja ymmärrettävässä muodossa kaikkiin suunnittelu- ja urakkasopimusasiakirjoihin.

Toimivuuden varmistamisessa tarvitaan myös uusia suunnittelu-, mittaus ja tarkastusmenetelmiä, jotka liittyvät mm. kulutusten ja sisäilmaston mittaamiseen, automaatiojärjestelmiin, energiankulutuksen laskentaan, sisäilmaston suunnitteluun ja käyttökustannusten arviointiin.

Lähdeluettelo

ASHRAE Guideline 0P. 2004. Proposed New Guideline 0, The Commissioning Process. 76 s.

Asumisterveysohje. 2003. Oppaita 2003:1. Helsinki: Sosiaali- ja terveysministeriö.

Brambley, M. R., Briggs, R., Katipamula, Sr., Dasher, C., Luskay, L. & Irvine, L. 2002. Investigating Potential Strategies for Automating Commissioning Activities. Teoksessa: National Conference on Building Commissioning: May 8–10, 2002.

e3Portaali, Tietoa kuntien kiinteistöjen energianhallintaan, <http://e3portal.vtt.fi>

Fisk, W. J. 2000. Health and productivity gains from better indoor environment and their relationship with building energy efficiency. Annual Review of Energy and the Environment 25, s. 537–566.

Glossary Building and civil engineering terms. 1993. British Standards Institution. Blackwell Scientific Publications. 624 s.

Halmekytö, P. Putkiverkostojen painevaihtelut ja tiiviyskokeet. CUBE-seminaari 22.3.2006. <http://www.tekes.fi.cube>.

Hekkanen, M. 2005. Mikä on tekninen laatu Oulun asuntomessuilla. Pientalon teknisen laadun kriteeristö. Julkaisematon esitelmä 2005.

Heljo, J., Nippala, E. & Nuutila, H. 2005. Rakennusten energiankulutus ja CO₂-ekv. päätöt Suomessa. Ympäristöklusterin tutkimusohjelma. Rakennuskannan ekotehokkaampi energiankäyttö EKOREM -projektin loppuraportti. Rakentamistalouden laitos, Raportti 2005:4. Tampere: Tampereen teknillinen yliopisto. 72 s. + liitt. 32 s. ISBN 952-15-1515-5.

Jalas, J. & Kimari, P. 2002. Päiväkotien ilmanvaihto. Loppuraportti. Oulun seudun ammattikorkeakoulu ja Suomen Talotekniikan Kehityskeskus Oy.

Junnonen, J.-M. & Kankainen, J. 2004. Asuntotuotannon laadunvarmistus. K&T 62 C. Helsinki: Rakennusteollisuus RT & ASRA.

Kalema, T., Pyly, P. & Keränen, H. 2006. Rakennusten energiatehokkuuden ja sisäilmaston arviointi – Koekohteena Jyväskylän ammattikorkeakoulun IT-Dynamo-rakennus. Raportti 183. Tampere: Tampereen teknillinen yliopisto, energia- ja prosessitekniikan laitos. 60 s.

Kauppinen et al. 2007. Rakennuksen toimivuuden varmistaminen energiatehokkuuden ja sisäilmaston kannalta. Manuaaliset menetelmät. VTT Tiedotteita 2414, Espoo: VTT.

KH-kortisto. KH 10-00116. 1988. Kiinteistöautomaatio, suunnitteluperusteet ja automaation vaikutukset. Helsinki: Rakennustieto Oy.

KH-kortisto. KH 17-00214. 1996. Rakennusautomaatiojärjestelmän tilaajan ohje. Helsinki: Rakennustieto Oy.

Koski, H. 2004. Rakennushankkeen luovutusprosessin kehittäminen. VTT Tiedotteita 2236. Espoo: VTT. 37 s. + liitt. 10 s. <http://www.vtt.fi/inf/pdf/tiedotteet/2004/T2236.pdf>.

Kärki, S. & Karjalainen, S. 1999. Ilmastointijärjestelmän vikadiagnostiikka. Menetelmät ja sovellukset. VTT Tiedotteita 1967. Espoo: VTT. 92 s. + liitt. 2 s. ISBN 951-38-5452-3. <http://www.vtt.fi/inf/pdf/tiedotteet/1999/T1967.pdf>.

Eang, L. S. 2005 Realising the Paradigm of User-driven Performance based Building Procurement. Cube/Sara-vuosiseminaari 2005.

Laki rakennuksen energiatodistuksesta (487/2007).

LVI 30-10349. 2004. LVI-kortisto, SFP-kortti, Opas ilmanvaihtojärjestelmän ominais-sähkötehon määrittämiseen, laskentaan ja mittaamiseen. 30 s. http://www.teknologiateollisuus.fi/files/5187_sfp_opas20040105.pdf.

Mendell, M., Fisk, W., Kreiss, K., Levin, H., Alexander, D., Cain, W., Girman, J., Hines, C., Jensen, P., Milton, D., Rexroat, L. & Wallingford, K. 2002. Improving the health of workers in indoor environments: priority research needs for a national of occupational research agenda. *American Journal of Public Health* 92(9), s. 1430–1440.

Mills, E., Friedman, H., Powell, T., Bourassa, N., Claridge, D., Haasl, T. & Piette, M. A. 2004. The cost-effectiveness of commercial-buildings commissioning. A Meta-Analysis of Energy and Non-Energy Impacts in Existing Buildings and New Construction in the United States. December 15, 2004. LBNL – 56637 (Rev.). <http://eetd.lbl.gov/Emills/PUBS/Cx-Costs-Benefits.html>.

Model commissioning plan and Guide Specifications (v2.05), PEI 1998. <http://www.peci.org/library.htm>.

Nissinen, K. 2003. Toimitilojen tehokkuuden ja toimivuuden mittaaminen työpistetar-kastelun perusteella. Tutkimus Tekesin Rembrandt-ohjelmassa 2003.

Nyman, M., Paiho, S. & Peltonen, J. 2005. WP2 Taustaselvitykset. Espoo: VTT Rakennustekniikka. 59 s. + liitt. 7 s. (Julkaisematon työraportti.)

Paiho, S., Leskinen, M. & Mustakallio, P. 2000. Automaatiojärjestelmän hyödyntäminen rakennusten energiatietoisien käytön apuvälineenä. VTT Tiedotteita 2072. Espoo: VTT. 63 s. ISBN 951-38-5774-3. <http://www.vtt.fi/inf/pdf/tiedotteet/2000/T2072.pdf>.

Paiho, S., Pietiläinen, J. & Ala-Juusela, M. 2004. WEB-based services for building energy management – WebE. ICEBO 2004 (International Conference for Enhanced Building Operation), October 18–19, 2004, Paris. <http://kheops.champs.cstb.fr/icebo2004/>.

Pakanen, J., Möttönen, V., Hyytinen, M., Ruonansuu, H. & Törmäkangas, K. 2001. Dynaamisten HTML-sivujen ja multimedian hyödyntäminen taloteknisten järjestelmien käytön, huollon ja vikadiagnostiikan opastamiseen. VTT Tiedotteita 2100. Espoo: VTT. 20 s. + liitt. 10 s. ISBN 951-38-5830-8. <http://www.vtt.fi/inf/pdf/tiedotteet/2001/T2100.pdf>.

Paloniitty, S. & Kauppinen, T. 2006. Rakennusten lämpökuvaus. Helsinki: Rakennusteollisuuden Kustannus RTK.

Pihala, H. 2002. PQ-NIALM-sähkönmittaustekniikka – rakennusten sähkön laadun ja loppukäyttölaitteiden yhteismittaus. TESLA-raportti 81/2002. 50 s. <http://www.vtt.fi/pro/tutkimus/tesla/julkaisut/rap81.pdf>.

RakMK osa A4. 2000. Rakennuksen käyttö- ja huolto-ohje. Helsinki: Ympäristöministeriö.

RakMK osa D2. 2003. Rakennusten sisäilmasto ja ilmanvaihto. Helsinki: Ympäristöministeriö.

RakMK osa D5. 1985. Rakennusten lämmityksen tehon- ja energiantarpeen laskenta. Ohjeet 1985. Helsinki: Ympäristöministeriö.

RT-kortisto. RT 18-10278. Rakennusten lämpökuvaus.

Ruokojoki, J. 2005. Kuntien omien rakennusten lämmön, sähkön ja veden kulutus v. 2004. Helsinki: Suomen Kuntaliitto.

Seppänen, O. & Palonen, J. 1997. Sisäilmaston kansantaloudelliset vaikutukset. SIY Raportti 10. Espoo: SIY Sisäilmätieto Oy.

Seppänen, O. & Vuolle, M. 2000. Cost effectiveness of some remedial measures to control summer time temperatures in an office building. Proceedings of Healthy Buildings 2000. Vol. 1. S. 665–670.

Seppänen, O. (toim.). 2004. Tuottava toimisto 2005 -projektin loppuraportti. TKK:n LVI-laboratorion raportti B77. Espoo: TKK.

SFS 3862. 1981. Ilman laatu. Työpaikkailma. Formaldehydipitoisuuden määrittäminen kromotrooppimenetelmällä. 9 s.

SFS 5412. 1987. Ilmansuojelu. Päästöt. Palamiskelpoiset savukaasut. Hiilimonoksidin määrittäminen ei-dispersiivisellä infrapuna-absorptiomenetelmällä. 9 s.

SFS 5511. 1989. Ilmastointi. Rakennusten sisäilmasto. Lämpöolojen kenttämittaukset. 14 s.

SFS 5517. 1989. Ilmastointi. Ilmastointijärjestelmän vastaanottomittaukset. Äänimittaukset. 4 s.

SFS 6000-6-61. 2002. Pienjännitesähköasennukset. Osa 6: Tarkastukset. Jakso 61. Käyttöönottotarkastukset. 2002-03-25. (SFS-KÄSIKIRJA 144, Pienjännitesähköasennukset ja sähkötyöturvallisuus, 3. uudistettu painos. Lokakuu 2005. 560 s.)

Sisäilmastoluokitus 2000. 2000. SIY raportti 5. Espoo: Sisäilmayhdistys. 32 s.

ST-kortisto. ST 701.40. 2004. Talotekniikan hajautetut tietojärjestelmät, suunnittelun yleisohje. Espoo: Sähkötieto ry.

ST-kortisto. ST 710.01. 2004. Väylätekniikkaa hyödyntävän hankkeen yleisohje. Espoo: Sähkötieto ry.

ST-kortisto. ST 710.10. 2004. Rakennusautomaatiojärjestelmän hyödyntäminen. Espoo: Sähkötieto ry.

ST-kortisto. ST 711.03. 2004. Rakennusautomaatioselostuksen laadintaohje. Espoo: Sähkötieto ry.

ST-kortisto. ST 711.04. 1994. Valvonta ja vastaanotto. Espoo: Sähkötieto ry.

ST-kortisto. ST 711.12. 1994. Luovutusasiakirjat. Espoo: Sähkötieto ry.

ST-kortisto. ST 711.13. Yleisiä rakennusautomaatiolaitteiden asennus- ja valintaohjeita.

ST-kortisto. ST 712.10. Rakennusautomaatiojärjestelmän ylläpito.

Sullivan, G. P., Puch, R., Melendez, A. P. & Hunt, W. D. 2004. Operations & Maintenance. A Guide to achieve operational efficiency. Federal Energy Management Program. U.S. Department of Energy. July 2004.

Sumitomo, T. & Yamamoto, K. 2003. BEMS-Assisted Commissioning for Existing Building Energy Management. Teoksessa: National Conference on Building Commissioning: May 20–22, 2003.

Suomen Kaukolämpö ry. 2001. Kaukolämpöliiketoiminnan riskikäsikirjarunko. Raportti T26/2001. Helsinki. 68 s. ISSN 1238-9331.

Suomen Valoteknillinen Seura ry. 1978. Valaistuksen mittaaminen ja arvosteleminen. SVS ry:n julkaisuja n:o 7. Helsinki. 58 s.

Talotekniikka RYL 2002. 2004. Osa 2, J7 Automaatiojärjestelmät, J7111 Rakennusautomaation suunnittelutavoitteet. Espoo.

Tetri, E. 2005. RET. Rakennusten energiatehokkuuden laskenta ja energiatehokkuusindikaattorit. WG4. Sähköjärjestelmät. Perustelumuuisto. Espoo: TKK, valaistuslaboratorio. 43 s. <http://www.motiva.fi/attachment/f16d4d543f99d7a59f54560a69063a0e/f56d26ee52dbf06c147299f1027359f2/Tiedosto+18+WG4+perustelumuuisto.pdf>. Viitattu 7.11.2005.

GSA Public Building Service. 2005. The Building Commissioning Guide 2005. U.S. General Services Administration. April 2005. 84 s.

Tuomainen, M., Smolander, J., Kurnitski, J., Palonen, J. & Seppänen, O. 2002. Modeling the cost effects of the indoor environment. Proceedings of Indoor Air 2002. Vol. 1. S. 814–819.

Valintaohjeita. 2004. Espoo: Sähkötieto ry.

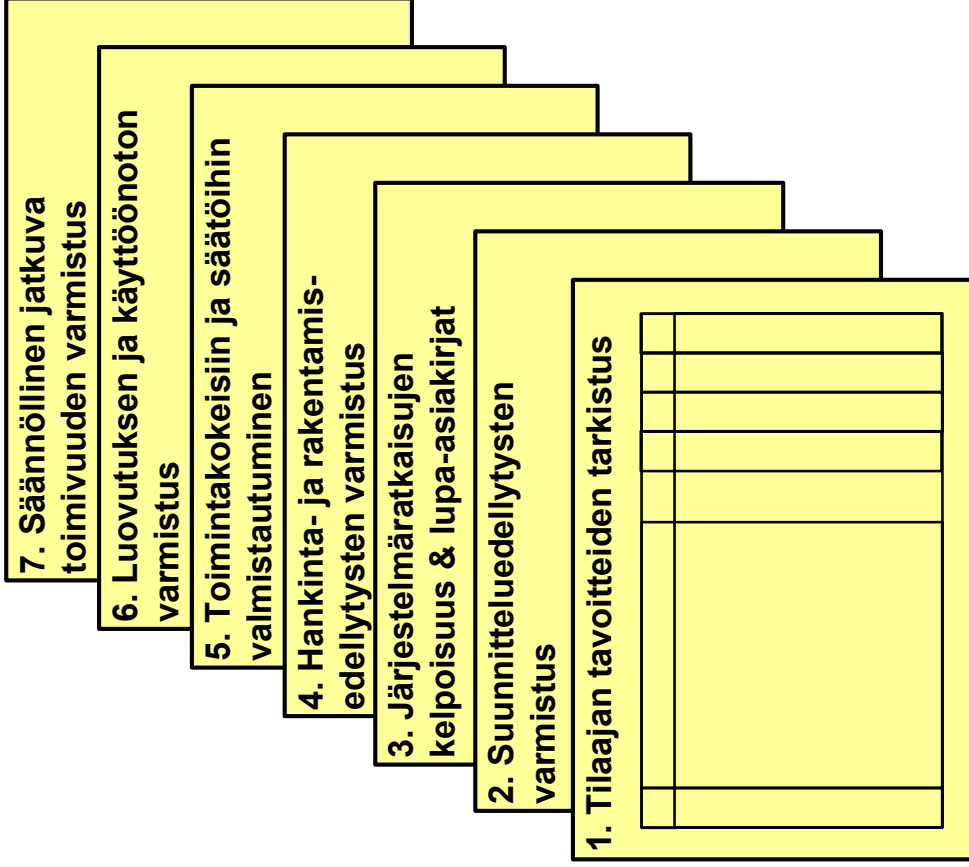
Visier, J. C. (toim.). 2004. Commissioning tools for improved energy performance. Results of IEA ECBCS Annex 40. 201 s.

VTT ProP. http://cic.vtt.fi/eco/ecoprop/suomi/EcoProp_esite.pdf.

YM:n raportti 580. 2002. Rakennus- ja kiinteistöalan ekotehokkuus. (Häkkinen, T. ym.)
Suomen ympäristö 580. Helsinki: Ympäristöministeriö. 162 s.

Ympäristöministeriön asetus rakennuksen energiatodistuksesta (765/2007).

Liite A: Sisäilmaston ja energiatehokkuuden ToVa-tarkistuslistat



Sisäilmaston ja energiatehokkuuden varmistamisen tarkistuslistat on tarkoitettu ToVa-toiminnan vetäjän apuvälineiksi laadittaessa ToVa-suunnitelmia ja hankekohtaisia tarkistuslistoja.

Tarkistuslistan sisältö ajoittuu hankeprosessissa seuraavasti:

- Tilaajan ja käyttäjien tavoitteiden tarkistus
- Suunnittelutavoitteiden ja suunnitteluedellytysten varmistaminen ennen suunnittelun käynnistämistä
- Suunnitteluratkaisujen ja rakennuslupa-asiakirjojen kelpoisuuden varmistaminen
- Detailisuunnitelmien, hankinta-asiakirjojen ja rakentamisen käynnistämiseen liittyvät tarkistukset ja varmistukset
- Rakennuksen ja sen järjestelmien toimintakokeiden suunnitelmien tarkistukset ja toimivuuden todentaminen
- Rakennuksen luovutukseen ja käyttöönottoon liittyvät varmistukset
- Suunnitellut sisäilmaston ja energiatehokkuuden varmistukset rakennuksen elinkaaren aikana

Tavoitteena on ToVa-tarkistuksen avulla varmistaa eri järjestelmien integraatio sisäilmaston ja energiatehokkuuden osalta. ToVa-suunnitelmia laadittaessa noteerataan yritysten laadunvarmistusmenettelyt.

- Tarkistuslistoissa ei ole huomioitu eri rakennustyyppejä tai erilaisien hankkeiden vaativuuksia. Käytettäessä tarkistuslistoja erityyppisissä hankkeissa on niitä hyödynnettävä soveltuvin osin.

1 Tilaajan tavoitteiden tarkistus

Osa-alue	ToVa-toimenpiteet	Menetelmät Menettelyt	Vastuu	Pvm.	Hyväksyntä	Dokumen- tointi
1 Rakennus	<p>Käyttäjän toiminta</p> <ul style="list-style-type: none"> • Toimintatapojen analysointi ^{a,b} <p>Tilaajan toiminnan tavoitteet ja tarpeet</p> <ul style="list-style-type: none"> • Tilaajan toimuustavoitteet rakennukselle ^{a,b} • Turvallisuustarpeet ^{a,b} • Rakennuksen laajennettavuus ja muunneltavuus ^{a,b} • Hankevaihtoehdot ^{a,b} <p>Rakennuksessa tapahtuvat erilaiset toiminnot ja palvelut</p> <ul style="list-style-type: none"> • Normaali toiminnat, laajuus ^{a,b} • Erityis toiminnat, laajuus ^{a,b} <p>Rakennuksen käyttäjät</p> <ul style="list-style-type: none"> • Työntekijämäärät ^{a,c} • Vierailijoiden määrä päivittäin ^{a,b} <p>Asemankaavan vaatimukset suunnittelulle</p> <ul style="list-style-type: none"> • Viranomais määräykset ja -suositukset ^{a,b} <p>Rakennuksen käyttöaika vuodessa, viikossa ja vuorokaudessa</p> <ul style="list-style-type: none"> • Tilaajan käyttöaikataavoitteet rakennukselle ^{a,b,c} <p>Elinkaaritalous</p> <ul style="list-style-type: none"> • Kiinteistön kokonaisenergiatehokkuustavoitteet ^{a,b,c} • Energiatehokkuustavoitteet energia- ja kulutustyypeittäin ^{a,b,c} • Käyttökustannukset ^{a,b,c} • Rakennuksen, järjestelmien ja laitteiden käyttöikätaavoitteet ^{a,b,c} <p>Tilaajan palvelutasovaatimukset</p> <ul style="list-style-type: none"> • Käyttö-, huolto- ja kunnossapitovaatimukset ja palvelutasot ^{a,b} 	<p>a) tarkistus b) arvio c) laskelmat</p>			<p>*) tilaaja **) toimittaja</p>	<p>1) huoltokirja 2) suunnitelmat</p>

2 Tilat	Tilaohjelma <ul style="list-style-type: none"> Käyttäjien vaatimukset tiloille ^{a,b} Primääritilat, tukitilat, erikoistilat ^{a,b} Tilojen muunneltavuustarpeet ^{a,b} Toiminnan luonne tiloissa, käyttöaste, -ajat ^{a,b} Tilojen väliset yhteydet ^{a,b} Tilojen toimivuusvaatimukset ja käyttäjien tarpeet <ul style="list-style-type: none"> Tilakohtainen vaimennus ja ääneneristys ^{a,b} Äänenpainetaso tilassa ^{a,b} Tilojen käytettävyyden palvelutarpeet ^{a,b} Muuntojoustavuus, monikäyttöisyys ^{a,b} Tilat/ryhmät/käyttö, huoneet, tekniset järjestelmät ^{a,b} Luonnonvalo/keinvalo eri tiloissa ^{a,b} Valaistustarve/-teho/ikkunoiden osuus, valo/työskentely ^{a,b} Tilojen käyttäjät ja henkilömäärät ^{a,b} Sisäilmasto <ul style="list-style-type: none"> Päätavoitteiden asettaminen: S1, S2, S3 -luokkien erot ja vaikutus energian käyttöön ^{a,b} 	a) tarkistus b) arvio		*) tilaaja **) toimittaja	1) huoltokirja 2) suunnitelmat
3 Vaippa	Palvelut <ul style="list-style-type: none"> Sijoittelu (sisäinen logistiikka), kulkuyhteydet ^{a,b} Vaipan lämmöneristys- ja ääneneristystavoitteet: YP, US, AP, aukot ^{a,b} 	a) tarkistus b) arvio		*) tilaaja **) toimittaja	1) huoltokirja 2) suunnitelmat
Seuraavia vaalennettuja kohtia voi hyödyntää tarpeen mukaan					
4 Ilmastointi ja jäähdytys	<ul style="list-style-type: none"> Ilmastoinnin taso, jäähdytystarpeet, lämpötilojen raja-arvot ^{a,b} Ilmastoinnin ohjaustarpeet ja osastointitarpeet ^{a,b} Lämmön talteenotto ^{a,b} 	a) tarkistus b) arvio		*) tilaaja **) toimittaja	1) huoltokirja 2) suunnitelmat
5 Lämmitys	<ul style="list-style-type: none"> Lämmönjakotapa, lämmitysmuoto, energiamuoto ^{a,b} 	a) tarkistus b) arvio		*) tilaaja **) toimittaja	1) huoltokirja 2) suunnitelmat

6 Vesi ja jätevesi	<ul style="list-style-type: none"> • Kulutustavoitteet (lämmin/kylmä vesi) ^{a,b} • Säästötavoitteet ^{a,b} • Kierrätys ^{a,b} 	a) tarkistus b) arvio		*) tilaaja **) toimittaja	1) huoltokirja 2) suunnitelmat
7 Sähköpalvelut	<ul style="list-style-type: none"> • Energiatehokkuustavoitteet ^{a,b} • Tavoiteltavat energialuokat ^{a,b} • Sähkön laatuvaatimukset, sähkökuormat ^{a,b} 	a) tarkistus b) arvio		*) tilaaja **) toimittaja	1) huoltokirja 2) suunnitelmat
8 Valaistus	<ul style="list-style-type: none"> • Yleis-/paikallisvalaistus, suoralepäsuoja valaistus ^{a,b} • Päivänvalo/keinovalo ^{a,b} • Valotekniset yleisvaatimukset: voimakkuus, luminanssi, kontrasti, värintoisto ym. ^{a,b} • Energiankulutustavoitteet ^{a,b} 	a) tarkistus b) arvio		*) tilaaja **) toimittaja	1) huoltokirja 2) suunnitelmat
9 Olosuhteiden ohjaus	<ul style="list-style-type: none"> • Terveellisyys, turvallisuus, viihtyisyys ^{a,b} • Energiataloudellinen käyttö, optimoinnit ^{a,b} • Ohjaus läsnäolotiedon ja päivänvalon mukaan ^{a,b} • Käyttövarmuus, luotettavuus, käytön helppous ^{a,b} • Ylläpito-, työ-, tarveaine-, alihankinta- ja pääomakustannukset ^{a,b} 	a) tarkistus b) arvio		*) tilaaja **) toimittaja	1) huoltokirja 2) suunnitelmat
10 Muut palvelut ja tarpeet	<ul style="list-style-type: none"> • Kylmälaitteiden energialuokat • Verkostojen vaatimukset ^{a,b} • Elinkaarenaikaiset varaukset ^{a,b} • Käyttäjän järjestelmät: turva, kulunvalvonta, tietoliikenne ^{a,b} • Esteettömyys ^{a,c} 	a) tarkistus b) arvio		*) tilaaja **) toimittaja	1) huoltokirja 2) suunnitelmat
11 Integrointi	<ul style="list-style-type: none"> • Avoimet/suljetut järjestelmät ^{a,b} • Muuntojoustavuuden vaikutus ^{a,b} • Kiinteistön hoidon (KH) -tarpeet ^{a,b} 	a) tarkistus b) arvio		*) tilaaja **) toimittaja	1) huoltokirja 2) suunnitelmat
12 Projektin suunnittelu ja johto	<ul style="list-style-type: none"> • Projektin alustava aikataulu ja budjetti ^{a,b} • ToVa-prosessin painotukset ja resurssit; tavoitteet ja vastuunjako ^{a,b} • Tilaajan henkilöstön / KH-henkilöstön koulutustarve ^{a,b} • Takuuvaatimukset, ympäristötavoitteet ^{a,b} • ToVa-vastuullisen rooli, isännöitsijän rooli, pääsuunnittelijan rooli ^{a,b} 	a) tarkistus b) arvio		*) tilaaja **) toimittaja	1) huoltokirja 2) suunnitelmat

2 Suunnitteluedellytysten varmistus

Osa-alue	ToVa-toimenpiteet	Menetelmät Menettelyt	Vastuu	Pvm.	Hyväksyntä	Dokumentointi
1 Rakennus	<p>Asiakkaan vaatimusten tarkentaminen</p> <ul style="list-style-type: none"> Rakennuksessa tapahtuvat toiminnot ^{a,b} Rakennuksen käyttäjämäärät: työntekijät, vierailijat ^{a,b} <p>Rakennuksen käyttöprofiili</p> <ul style="list-style-type: none"> Käyttöaika vuodessa, viikoittain ja päivittäin ^{a,b} <p>Energiatalous</p> <ul style="list-style-type: none"> Energiatehokkuustavoitteet ^{a,b} Energiatehokkuustavoitteiden virhemarginaalit ^{a,b} Lämpö, sähkö, vesi ^{a,b} Merkitävimmät energiankulutukseen vaikuttavat päätökset ^{a,b} Ilmaisenergioiden hyödyntäminen: muoto, suuntaus ^{a,b} <p>Sisäilmasto</p> <ul style="list-style-type: none"> Sisäilmastotavoitteet ^{a,c} Sisäilmastotavoitteiden virhemarginaalit ^{a,b} Rakennuksen sijoittelu tontille Aurinkoenergian ja päivänvalon saanti (ilmansuunta ja varjostukset) ^{a,b} Tuulisuus, maasto, muut rakennukset, istutukset ^{a,b} Ikkunat aurinkoiseen suuntaan ^{a,b} Voiko ikkunakokoa pienentää tai suurentaa ^{a,b} Aurinkoenergian hyödyntäminen massiivisuuden lisäämisellä ^{a,b} Onko rakennuksen pohjan muoto energiataloudellinen ^{a,b} Voidaanko kerroslukua kasvattaa ^{a,b} Voidaanko puoliämpimillä tiloilla muodostaa puskurivähykettä lämpimien tilojen ympärille ^{a,b} Onko katettu kuisti mahdollinen ^{a,b} 	<p>a) tarkistus b) muutos c) päivitys d) simulointi e) energia-laskenta</p>				<p>1) ToVa-muistio 2) hankke-ohjelmat 3) LC-laskelmat</p>

	<ul style="list-style-type: none"> • Onko rakennuksessa turhia lämmitettyjä tiloja ^{a,b} • Voidaanko rakennuksen sisäisiä kuormia (sauna, keittiö...) hyödyntää tehokkaasti ^{a,b} • 1. energialaskelma kWh/m² tai kWh/rm³ ^{a,b} <p>Elinkaaritalous</p> <ul style="list-style-type: none"> • Kustannusarvio, käyttökustannukset, elinkaari-kustannukset ^{a,b} • Tavoiteltavat hyödyt ^{a,b} • Omistajan kanta uusiutuvan energian käyttöön ^{a,b} • Omistajan kanta energialähteen valintaan ^{a,b} <p>Käyttäjät</p> <ul style="list-style-type: none"> • Roolit ja vastuut ^{a,b} 				
<p>2 Tilat</p>	<p>Tilaohjelma</p> <ul style="list-style-type: none"> • Huonetilojen määrä, tyypit ja väljyydet ^{a,b} • Tilojen palvelutasot, tilaratkaisut, käyttäjät ^{a,b} • Järjestelmien tilavaraukset, konehuoneet, kullut, reitit, tukitilat ^{a,b} • Muunneltavuus, laajennettavuus ^{a,b} • Tilojen varustus ^{a,b} <p>Tilakohtaiset sisäolosuhteiden tavoitteet/vaatimukset</p> <ul style="list-style-type: none"> • Lämpötila, jäähdytystarve, ilmanvaihdon määrä ^{a,b} • Tilakohtaiset äänenvaimennukset/eristykset ^{a,b} • Luonnonvalo/keinvalo ^{a,b} • Äänenvaimennus % kattopinta-alasta ^{a,b} 	<p>a) tarkistus b) muutos c) päivitys</p>			<p>1) tilaohjelma 2) huonekortit</p>

3 Vaippa: seinät, yläpohja, alapohja, ikkunat ja ovet	Vaipan tavoitteet <ul style="list-style-type: none"> • Tavoitteet/kriteerit suunnitteluratkaisuille ^{a,b} • Lämmöneristys U-arvot, ikkunapinnan ja lämmitysjärjestelmän vaikutus lämpövihiytyyteen, eristystason vaikutus ^{a,b} • Äänen eristys, ilmanpitävyys ^{a,b} • Auringonvalosuojaus, säteilynläpäisevyys ^{a,b} • Ulko-ovien, ikkunoiden ja ulkovaipan ilmaääneneristys-tavoite ^{a,b} 	a) tarkistus b) muutos c) päivitys			1) suunnittelutavoitteet
4 Ilmastointi ja jäähdytys	Ilmastoinnin ja jäähdytyksen tavoitteet <ul style="list-style-type: none"> • Lähtötiedot: olosuhteet, lämpökuormat, IV_kapasiteetti, simuloinnit. IV-puhtausluokka, P, M-luokat", IV_äänitasot ^{a,b} • Kiinteistön käyttötavat ^{a,b} • Jäähdytysjärjestelmän tehokkuus ^{a,b} • Eri ratkaisujen vaikutus energiatehokkuuteen: LTO, ilmanvaihtomäärät, tuloilman lämmitys ^{a,b} • Toimivuustavoitteet, järjestelmävaihtoehtojen/jäähdytysjärjestelmä ^{a,b} • LTO:n hyötysuhde, huomioi suunnittelussa mittausmahdollisuus, määräysten taso tai tiukempi ^{a,b} • Ohjausperiaate ^{a,b} • Ilmanvaihtojärjestelmän valinta ^{a,b} 	a) tarkistus b) muutos c) päivitys d) laskenta e) simulointi			1) järjestelmäkortit
5 Lämmitys-järjestelmä	Lämmitysjärjestelmän toimivuustavoitteet <ul style="list-style-type: none"> • Lähtötiedot, kapasiteetti ^{a,b} • Ohjaustavat: termostaatti-/moottoriohjaus ^{a,b} • Järjestelmävaihtoehdot, järjestelmäkuvaus ^{a,b} • Lämmityksen ohjaus ^{a,b} 	a) tarkistus b) muutos c) päivitys			1) järjestelmäkortit
6 Vesi- ja viemäri	VV-järjestelmien toimivuustavoitteet <ul style="list-style-type: none"> • Tavoitteet ja kapasiteetit ^{a,b} • Kierrätys/LTO ^{a,b} 	a) tarkistus b) muutos c) päivitys			1) järjestelmäkortit

7 Sähkön jakelu	Tavoitteet <ul style="list-style-type: none"> Sähkökuormat ^{a,b} Sähkökuormien mittaamisen ja kuormien ohjauksen mahdollistava sähköjakelun ryhmittely ^{a,b} Sähköjakelun ryhmittely eri kuormaryhmien sähkön laatuvaatimukset huomioiden ^{a,b} Sähkölämmitys omana mitattavana syöttöryhmään ^{a,b} Mittausryhmien määrittely ^{a,b} Kuormituksen vuorottelu ^{a,b} 	a) tarkistus b) muutos c) päivitys			1) järjestelmäkortit 2) järjestelmäkuvaus
8 Valaistus, valaisimet	Tavoitteet <ul style="list-style-type: none"> Energiatehokkuus (W/m²) ^{a,b} Valaistuskriteerit: suora/epäsuora, valaistustasot ^{a,b} Ohjaustavoitteet: valaistusvoimakkuuteen perustuva ohjaus (vakiovalo-ohjaus, päivänvalon hyödyntäminen), läsnäoloon perustuva ohjaus, porrastus eri sytytysryhmiin ^{a,b} Valaistuksen huoltojaksot ^{a,b} 	a) tarkistus b) muutos c) päivitys			1) tilikortit
9 Automaatio, käyttö ja informaatiojärjestelmät	Tavoitteet <ul style="list-style-type: none"> Ohjaustarpeiden ja käyttäjien tarpeiden selvitys ^{a,b} Toimivuustavoitteet: turvallisuus, viihtyisyys, terveellisyys ^{a,b} Määrälliset tavoitteet: kulutukset, energiakustannukset, energiankulutuksen seurantarvaihtoehdot, mittausvalvonta, raportointi ^{a,b} Järjestelmän vaatimukset: haluttu laajuus ja toimenpiteet (hälytyskäsitely, energiaseuranta, trendiseuranta, hyöty-suodelaskenta, tehonrajoitukset, käyntiaikalaskenta, suojaus häiriötilanteissa, mittaus tietojen hyödyntäminen ohjauksissa, hälytys historian hyödyntäminen huollossa ja ylläpidossa) ^{a,b} Päättävöiteiden valinta: käyttövarmuus, muuntojoustavuus, luotettavuus, käytön helppous, ohjelmoitavuus (muutosten teko), prosessiarvojen seuranta, raportointi, analysointimahdollisuus, haavoittuvuus, häiriöalttius, tietoturva, itsediagnostointi ^{a,b} 	a) tarkistus b) muutos c) päivitys			1) järjestelmäkortit 2) järjestelmäkuvaus 3) käyttäjävaatimukset-dokumentti 4) mittaus-suunnitelma

12 Projektin johto	Johto <ul style="list-style-type: none"> • Suunnittelutavoitteiden tarkistus suunnittelusopimuksissa ^{a,b} • Vastuunjakko eri suunnittelualojen välillä ^{a,b} • Tavoitteet ja toimenpiteet ^{a,b} • Riskianalyysit ^{a,b} • Läpimenevien asioiden määritys: tekstit, numerot ^{a,b} • ToVa-suunnitelma ^{a,b} • Järjestelmätavoitteiden vastaaminen tilaajan tavoitteisiin ^{a,b} • ToVan valvontasuunnitelma: vastuunjaot, sopimukset, huolto ^{a,b} • ToVa-prosessin johtaminen ja tilaisuudet ^{a,b} • Suunnittelusopimuksien tarkistus ^{a,b} 	a) tarkistus b) muutos c) päivitys d) kokoukset	ToVa- vastaava Projekti- päällikkö	Tilaaja/ projektipäällikkö/ ToVa-vastaava	1) ToVa- suunnitelma
---------------------------	--	--	---	---	-------------------------

3 Järjestelmäratkaisujen kelpoisuuden varmistaminen & lupa-asiakirjat

Osa-alue	ToVa-toimenpiteet	Menetelmät Menettelyt	Vastuu	Pvm.	Hyväksyntä	Dokumentointi
1 Rakennus	<p>Energia</p> <ul style="list-style-type: none"> • Suunnitelmien tarkistus ^{a,b} • Mittarit, tavoiteluokat – mittareilla S1, S2, S3 ^{a,b} • Energiankulutustavoitteen tarkistus ^{a,b} • Energiaselvityksen laadinta/päivitys ^{a,b} <p>Käyttö</p> <ul style="list-style-type: none"> • Laitteiden valintakriteerit ^{a,b} • Käyttäjän roolit ja vastuut ^{a,b} 	<p>a) tarkistus b) päivitys c) muutos d) tavoitevertailu e) laskelmat f) simulointi</p>				1) <i>Energia-</i> <i>selvitys</i>
2 Tilat	<p>Tilat</p> <ul style="list-style-type: none"> • Vaihtoehtoisten valintojen kartoittaminen ^{a,b,d,e} • Toimivuus, terveellisyys, turvallisuusvaatimukset ^{a,b} • Tilakohtaiset laitteet ja varusteet, huonekortit ^{a,b} 	<p>a) tarkistus b) päivitys c) muutos d) olosuhde- simulointi e) koulutus- simulointi</p>				1) <i>huonekortit</i>
3 Vaippa, seinät, yläpohja, alapohja, ikkunat ja ovet	<p>Suunnitelmat ja työselitykset</p> <ul style="list-style-type: none"> • Riskikohtien tunnistaminen, ovien, ikkunoiden sekä vaipparakenteen suunnittelu, tiiviys, kylmäsilat ^{a,b} • Ovi- ja ikkunatyypin valinta, tarvittavat erikois-toimenpiteet (esim. runkoäänien ehkäisy), eristeet, energiatehokkaiden ikkunoiden ja ovien valinta, U-arvot ja auringonsäteilyn läpäisy ^{a,b} • Luonnonvalaistuksen tarkistus ^{a,b} • Kosteuskontrollit ja -anturien tyypit ja sijainnit ^{a,b} 	<p>a) tarkistus b) päivitys c) muutos d) riskikartoitus e) laskelmat f) simulointi</p>				1) <i>poikkeama-</i> <i>muistiot</i>

4 Ilmastointi- ja jäähdytysjärjestelmä	Suunnitelmien kelpoisuus <ul style="list-style-type: none"> • Tyyppiratkaisut, vaatimukset hankinnoille ^{a,b} • Laitekortit ^{a,b} • Hankintojen vertailu tavoitteisiin ^{a,b} • Kapasiteettivaatimukset ^{a,b} • Toimittajien dokumentaatio ja tuki ^{a,b} • Urakkarajat ^{a,b} • Ilmanvaihtokoneiden ryhmittely tilojen käyttötarpeita vastaavasti ^{a,b} 	a) tarkistus b) päivitys c) muutos d) LC-laskelmat			1) muistiot
5 Lämmitys-järjestelmä	Suunnitelmien kelpoisuus <ul style="list-style-type: none"> • Lisä- ym. lämmittimien käyttö on tarpeenmukaisesti ohjattu ^{a,b} • Pumppujen tehonsäätö on kannattavaa ^{a,c} 	a) tarkistus b) päivitys c) muutos			1) huonekortit
6 Vesi- ja viemäri-järjestelmä	Suunnitelmien kelpoisuus <ul style="list-style-type: none"> • Lämpimälle ja kylmälle vedelle on määritetty tavoitearvo ^{a,b} • Lämpimän ja kylmän veden kulutukset on mahdollista erotella mittauksilla ^a • Suihkujen vesivirtaa pienennetään säästävillä hanoilla tai rakennus-/kalustekohtaisilla paineenalennusventtiileillä ^a • Kalusteiden vesivirrat on säädetty oikeiksi ^a • WC-altaiden huuhteluviesimäärää kannattaa / on mahdollista pienentää ^a • Käyttövesiverkoston eristys on kannattavaa ^a • Käyttöveden lämpötila on oikea (55 °C) ^{a,c} • Märkätilojen lattialämmitys on varustettu säätöjärjestelmällä, jolla lämmitys voidaan kytkeä pois halutuiksi ajanjaksoiksi ^{a,c} 	a) tarkistus b) päivitys c) muutos			
7 Sähkö-järjestelmä	Sähköverkko <ul style="list-style-type: none"> • Loistehon tarveselvityslaskelma ^{a,b} • Kokonaisteholaskelma ^{a,b} • Sähköliittymän tarkoituksenmukainen mitoitus ^{a,b} 	a) tarkistus b) päivitys c) muutos			1) poikkeama-muistio

4 Hankinta- ja rakentamisedellytysten varmistus

Osa-alue	ToVa-toimenpiteet	Menetelmät Menettelyt	Vastuu	Pvm.	Hyväksyntä	Dokumentointi
1 Rakennus	<p>Tekniset asiakirjat</p> <ul style="list-style-type: none"> Suunnitelmat työselityksessä asetettujen laatuvaatimusten mukaiset kaikki osin ^{a,b} Mittarit, esim. mittareilla S1, S2, S3 ^{a,d} Energiankulutustavoitteen tarkistus ennen toteutuvien hankintojen muutosvaikutusta ^{a,b,e} Osajärjestelmät suunniteltu ja valittu, verrattu tavoitteisiin ^{a,b} Käyttäjän roolit ja vastuut ^{a,c} Urakkojen tarkistus ^{a,b} 	<p>a) tarkistus b) päivitys c) muutos d) mittarit e) simulointi</p>				1) suunnitelmat 2) työselitys 3) huoltokirja
2 Tilat	<p>Tekniset asiakirjat</p> <ul style="list-style-type: none"> Suunnitelmat työselityksessä asetettujen laatuvaatimusten mukaiset kaikki osin ^{a,b} Toimivuus, terveellisyys ^{a,d} <p>Simuloinnit</p> <ul style="list-style-type: none"> Olosuhdesimuloinnit vaihtoehtoisten valintojen kartoittamiseksi ^{a,b} Energiankulutus- ja simuloinnit vaihtoehtoisten valintojen kartoittamiseksi ^{a,b} <p>Laitteet ja kalusteet</p> <ul style="list-style-type: none"> Termostaattien paikkojen suunnittelu ^{a,c} Kalusteiden päästöt huoneilmaan ^{a,c} Käyttn toimintoraportti ja turvallisuus ^{a,c} 	<p>a) tarkistus b) päivitys c) muutos d) mittarit</p>				1) suunnitelmat 2) työselitys 3) huonekortit
3 Vaippa, seinät, yläpohja, alapohja, ikkunat ja ovet	<p>Tekniset asiakirjat</p> <ul style="list-style-type: none"> Suunnitelmat työselityksessä asetettujen laatuvaatimusten mukaiset kaikki osin ^{a,b} <p>Rakenteet</p> <ul style="list-style-type: none"> Riskikohtien tunnistaminen, ovien, ikkunoiden sekä vaipparakenteen suunnittelu, tiivys ^{a,c,d} 	<p>a) tarkistus b) päivitys c) muutos d) riskikartoitus e) energia-check</p>				1) suunnitelmat 2) työselitys 3) poikkeamamuistio

	<ul style="list-style-type: none"> Ovi- ja ikkunatyypien valinta ^{a,c} Tarvittavat erikoistoimenpiteet ^{a,f} Eristeet, U-arvot ja auringonsäteilyn läpäisy ^{a,c} <p>Mittausedellytykset</p> <ul style="list-style-type: none"> Kosteuskontrollien ja antureiden tyypit ja sijainnit ^{a,b} 	f) runkoäänien ehkäisy				1) suunnitelmat 2) työselitys
4 Ilmastointi- ja jäähdytysjärjestelmä	<p>Tekniset asiakirjat</p> <ul style="list-style-type: none"> Suunnitelmat työselityksessä asetettujen laatuvaatimusten mukaiset kaikkiin osiin ^{a,b} Toimintaselostukset ^{a,b} Tyypiratkaisut, vaatimukset hankinnoille ^{a,c} Laitekorit ^{a,c} Hankintojen vertailu olosuhdetavoitteisiin ^{a,b} Kapasiteettivaatimukset ^{a,c} Toimittajien dokumentaatio ja tuki ^{a,b} 	a) tarkistus b) päivitys c) muutos				1) suunnitelmat 2) työselitys
5 Lämmitysjärjestelmä	<p>Tekniset asiakirjat</p> <ul style="list-style-type: none"> Suunnitelmat työselityksessä asetettujen laatuvaatimusten mukaiset kaikkiin osiin ^{a,b} Toimintaselostukset ^{a,b} <p>Mittausedellytykset</p> <ul style="list-style-type: none"> Mittarointi ^{a,c} Laitteiden valinta ^{a,c} 	a) tarkistus b) päivitys c) muutos d) LC-laskelma				1) suunnitelmat 2) työselitys
6 Vesi- ja viemärijärjestelmä	<p>Tekniset asiakirjat</p> <ul style="list-style-type: none"> Suunnitelmat työselityksessä asetettujen laatuvaatimusten mukaiset kaikkiin osiin ^{a,b} Toimintaselostukset ^{a,b} <p>Mittausedellytykset</p> <ul style="list-style-type: none"> Mittarointi ^{a,c} 	a) tarkistus b) päivitys c) muutos				1) suunnitelmat 2) työselitys
7 Sähköjärjestelmä	<p>Tekniset asiakirjat</p> <ul style="list-style-type: none"> Pistorasioiden riittävyys/sijainti ^{a,b} Sähköliittymä ja sulakkeet ^{a,b} 	a) tarkistus b) päivitys c) laskenta				1) sähköverkon suunnitelmat 2) poikkeamamuistio

	<ul style="list-style-type: none"> • Kuormien ryhmittely^{a,b} • Jakokeskuksilla omat nousujohdot, verkostossa kuormituksen kasvuvaraa^{a,b} • Loistehon kompensoinnin tarveselvitys laskelmin^{a,b,c} • Toimintaselostukset^{a,b} <p>Mittausedellytykset</p> <ul style="list-style-type: none"> • Pääkeskuksessa on kokonaiskuormituksen mittaus sekä mittausliittimet siirrettävälle sähkönkulutuksen seurannalle^{a,d} • Pääkeskuksesta lähtevissä nousujohdoissa on virtapihtimittauksen mahdollistavat johtolenkit^{a,d} • Kuormien ryhmittely mahdollistaa riittävän tarkkan sähkönkulutuksen seurannan^{a,d} <p>Sähkölaitteet, ohjaukset</p> <ul style="list-style-type: none"> • Sähkölaitteiden valinnassa on suosittu energiatehokkaita ratkaisuja^{a,d} • Sähkösaatto- ja lattialämmityksiä on mahdollista ohjata lämpötila- ja aikaohjelmilla^{a,d} 	d) muutokset			
8 Valaistus, valaisimet	<ul style="list-style-type: none"> • Standardin SFS-EN 12464-1 asettamat vaatimukset valaistussuunnitelmassa^{a,b,1} • Valituilla lampputyypeillä on mahdollisimman suuri valotehokkuus ja pitkä käyttöikä huomioon ottaen valon laatu-vaatimukset (väriäji, värinöistö ja luminanssi) ja käyttö-vaatimukset (koko, valovirta jne.)^{a,b} • Valaisimet on valittu siten, että valaistustulos ja valaistuksen hyötysuhde ovat hyvät (esim. loisteputkivalaisimissa elektroniset liitäntälaitteet)^{a,b} • Valaisinten tarkoituksenmukainen sijoittelu^{a,b} • Valaisinten ohjaus on jaettu riittävän pieniin ryhmiin tarpeenmukaisen käytön mahdollistamiseksi^{a,b} • Valaistuksen ohjausratkaisuissa huomioitu päivänvalon hyväksikäyttö ja läsnäolo-ohjaus^{a,b} • Toimintaselostukset^{a,b} 	a) tarkistus b) päivitys			1) valaistus-suunnitelma 2) huonekortit

9 Automaatio, käyttö ja informaatiojärjestelmät	Tekniset asiakirjat <ul style="list-style-type: none"> • Suunnitelmat työselityksessä asetettujen laatuvaatimusten mukaiset kaikkiin osiin^{a,b} • Suunnitelmat urakkarajaliitteen ohjeiden ja määräyksien mukaiset kaikkiin osiin^{a,b} • Suunnitelmat työselityksessä automaatiojärjestelmälle asetettujen teknisten tavoitteiden mukaiset kaikkiin osiin^{a,b} • Automaatiojärjestelmälle on käyttö- ja huolto-ohjeiden suunnitelma^{a,b} • Käyttö- ja asennusohjeet ovat suomenkieliset^{a,b} • Automaatiojärjestelmän käytönopastuksen kirjallinen koulutusohjelma, joka jakautuu teoreettiseen koulutukseen ja käytännön koulutukseen^{a,b} • Suomenkielinen koulutusmateriaali^{a,b} 	a) tarkistus b) päivitys			1) suunnitelmat 2) työselitys
10 Muut erilliset järjestelmät, hissit, sprinklaus, tietoliikenne	Tekniset asiakirjat <ul style="list-style-type: none"> • Suunnitelmat työselityksessä asetettujen laatuvaatimusten mukaiset kaikkiin osiin^{a,b} 	a) tarkistus b) päivitys			1) suunnitelmat 2) työselitys
11 Järjestelmien integrointi	Tekniset asiakirjat <ul style="list-style-type: none"> • Suunnitelmat työselityksessä asetettujen laatuvaatimusten mukaiset kaikkiin osiin^{a,b} • Yhteistoimintalogiikat^{a,b} • Järjestelmien toimintaselostuksien yhtenäiset käytännöt^{a,b} • Laitteiden sijoittelu ja asennusvaatimukset^{a,b} • Systemikuvaukset^{a,b} • Osajärjestelmien mittausedellytykset^{a,c} • Käyttö- ja huolto-ohjeet^{a,b} 	a) tarkistus b) päivitys c) muutos	Kokonais-toimivuusvastuu		1) suunnitelmat 2) työselitys
12 Projektin johto	Johdon työkalut <ul style="list-style-type: none"> • ToVa-suunnitelman laadinta ja vastuunjako^{a,b} • ToVa-tehtävät suunnittelu- ja työmaakouksissa^{a,b} • Poikkeamiin reagointi^{a,b,c} 	a) tarkistus b) päivitys c) muutos			1) suunnitelmat 2) ToVa-päiväkirja

5 Toimintakokeisiin ja säätöihin valmistautuminen

Osa-alue	ToVa-toimenpiteet	Menetelmät Menettelyt	Vastuu	Pvm.	Hyväksyntä	Dokumentointi
1 Rakennus	ToVa-toimenpiteet Energiankulutus <ul style="list-style-type: none"> Kulutusarvot valituille ja asennetuille tuotteille ^{e,d} Työohjeet <ul style="list-style-type: none"> Työohjeet eristyksiin; materiaalit ja detaljit ^{a,c} Työnaikaiset suojausluokat ^{a,c} Huolellinen rakentaminen, hyvä tiiviyys ^{a,b} Laittevalintojen tarkistus ja hyväksyntä ^{a,b} Työnaikainen suojaus ^{a,b} 	a) tarkistus b) muutos c) päivitys d) kulutuslaskelmat e) energia-check				1) työohjeet 2) huoltokirja
2 Tilat	Tiiviyys ja puhtaus <ul style="list-style-type: none"> Vaipan ilmatiiviyys ^{a,d} Laitteet ja materiaalit <ul style="list-style-type: none"> Vesi- ja kosteuseristys; materiaalit ^{d,e} Termostaattien paikat ^{a,b} Tilojen puhtaus toimintakokeita varten ^{a,b} 	a) tarkistus b) muutos c) päivitys d) kohde-mittaukset e) kalvopak-suussertifikaatit				1) tarkistus-pöytäkirja 2) huoltokirja
3 Vaippa, ikkunat ja ovet	Rakennetarkistukset <ul style="list-style-type: none"> Detailit riskikohdissa ^{a,d} Riskipaikat ^{c,d,e} Mittaukset <ul style="list-style-type: none"> Vaipan ilmanpitävyys ^{a,d} Vaipan todelliset U-arvot lämpökamerakuvaksella ^a Ikkunoiden ilmanpitävyys ^{a,b} Ulkovaipan mitatut U-arvot → korjaukset jo asennuksen yhteydessä ^{a,b} Asennusten huolellisuus – tiiviyys ^g Suojaus <ul style="list-style-type: none"> Sääsuojaus ^{a,b} Siivous ^a 	a) tarkistus b) korjaus c) työn aloitus-katselmuks d) peittämis-tarkistus e) vastaan-ottokatselmuks f) asennusfa-patarkistus g) visuaalinen tarkistus				1) mittauspöytäkirja 2) huoltokirja

4 Ilmastointi- ja jäähdytysjärjestelmät	<p>Mittaukset</p> <ul style="list-style-type: none"> Ilmanvaihtokanavien tiiviyys ^{a,c} Anturien asennukset suunnitelmien mukaan ^{a,b} Lämpö- ja kosteuseristys ^{a,c} <p>Suojaus</p> <ul style="list-style-type: none"> Puhtaus ^a SFP-luvut ($< 2,5 \text{ kW}/(\text{m}^3/\text{s})$) ^{a,d} 	<p>a) tarkistus b) korjaus c) kohdennettu mittaus d) partikkelimittaus</p>			1) mittauspöytäkirja 2) huoltokirja
5 Lämmitysjärjestelmä	<p>Mittaukset</p> <ul style="list-style-type: none"> Tasapainotus ^{a,b} 	<p>a) tarkistus b) mittaus</p>			1) LV-suunnitelmat 2) huoltokirja
6 Vesi- ja viemärijärjestelmä	<p>Mittaukset</p> <ul style="list-style-type: none"> Vesiputkiston huuhdetut ^{a,b} Pohjaviemärin asennus ^{a,c} 	<p>a) tarkistus b) painekokeet c) kuvaus</p>			1) mittauspöytäkirja 2) huoltokirja
7 Sähköjaka- ja järjestelmä	<p>Mittaukset</p> <ul style="list-style-type: none"> Sähkön laatu ^{a,e} Loisteho ^{a,e} Turvallisuustarkistukset ja mittaukset ^{a,e} Muutostyöt ^{a,d,c} Mittarointi ^{a,d,c} 	<p>a) tarkistus b) mittarointi c) varaukset d) muutos e) mittaus</p>			1) mittauspöytäkirja 2) huoltokirja
8 Valaistusjärjestelmät, valaisimet	<p>Asennukset</p> <ul style="list-style-type: none"> Valaisimet ^a Valoisuutta/läsnäoloa mittaavat anturit ^a <p>Mittaukset</p> <ul style="list-style-type: none"> Valaistusolosuhteet (luxit, kontrasti, valaistuserot) ^b 	<p>a) tarkistus b) mittaus</p>			1) mittauspöytäkirja 2) huoltokirja
9 Automaatio, käyttö ja informaatiojärjestelmä	<p>Asennukset</p> <ul style="list-style-type: none"> Anturit ja kenttälaitteet ^{a,c} Kaapelointi ^a Alakeskukset ^a Valvomo ^a <p>Mittaukset</p> <ul style="list-style-type: none"> Väyly ^{a,b} 	<p>a) tarkistus b) mittaus c) kalibrointi d) ennakkotarkistus</p>			1) käyttönoitotiesitelmä 2) koulutussuunnitelma 3) mittauspöytäkirja

6 Luovutuksen ja käyttöönoton varmistus

Osa-alue	ToVa-toimenpiteet	Menetelmät Menettelyt	Vastuu	Pvm.	Hyväksyntä	Dokumen- tointi
1 Rakennus	Energiankulutus <ul style="list-style-type: none"> Kokonaisenergiankulutuksen selvitys energiatyypeittäin ja käyttökohteittain (mm. Energiatodistuksen tarkistus ja varmentaminen) ^{a,c} Tavoitearvot ja niiden vastaavuus suunnitteluvaiheen laskennan/arvioiden kanssa ^{a,c} Mittareiden kytkennät ja vaikutusalueet ^{a,b} Kirjallinen selvitys käytön vaikutuksesta rakennuksen energiankulutukseen, olosuhteisiin ja toimivuuteen ^{a,c} Käyttökoulutus <ul style="list-style-type: none"> KH-henkilöstön koulutus kirjallisessa koulutussuunnitelmassa ^{a,c} Huoltokirja- ja mittarikoulutus kirjallisessa koulutussuunnitelmassa ^{a,c} 	<ul style="list-style-type: none"> a) tarkistus b) muutos c) päivitys 			*) tilaaja	<ul style="list-style-type: none"> 1) ToVa-tarkastusasiakirja 2) huoltokirja 3) suunnitelmat
2 Tilat	Mittaukset <ul style="list-style-type: none"> Olosuhdemittaukset ^{a,c} Asiakirjat <ul style="list-style-type: none"> Tilakortit tietoineen huoltokirjassa ^{a,b} Käyttökoulutus <ul style="list-style-type: none"> Käyttäjäkoulutus kirjallisessa koulutusohjelmassa ^{a,b} Asumiskoulu kirjallisessa koulutusohjelmassa ^{a,b} Vaatimukset käyttöliittymille kirjallisena ^{a,b} 	<ul style="list-style-type: none"> a) tarkistus b) päivitys c) mittaus 			*) tilaaja	<ul style="list-style-type: none"> 1) huoltokirja 2) suunnitelmat 3) mittauslomake 4) mittausraportit
3 Vaippa, seinät, yläpohja, alapohja, ikkunat ja ovet	Asennukset <ul style="list-style-type: none"> Ikkunoiden kunto ^a Mittaukset <ul style="list-style-type: none"> Lämpökamerakuvaus ^{a,c} Vuotomittaus ^{a,c} Käyttökoulutus <ul style="list-style-type: none"> Järjestelmään perehdyttäminen kirjallisessa koulutussuunnitelmassa ^{a,b} 	<ul style="list-style-type: none"> a) tarkistus b) päivitys c) mittaus 			*) tilaaja **) toimittaja	<ul style="list-style-type: none"> 1) huoltokirja 2) suunnitelmat 3) mittauslomake 4) mittausraportit

4 Ilmas- tointi- ja jäähdytys- järjestelmät	Asennukset <ul style="list-style-type: none"> • Pääilmavirrat ^{c,d} • Lämpötilamittaukset kentällä ^{a,c} • Mittaukset tallentuvat kiinteistön raportointijärjestelmään ^{a,e} • Laitteiden lopullinen viritys ^{a,f} Käyttökoulutus <ul style="list-style-type: none"> • Järjestelmään perehdyttäminen kirjallisessa koulutussuunnitelmassa ^{a,b} 	a) tarkistus b) päivitys c) mittaus d) säätö e) muutos f) viritys		*) tilaaja **) toimittaja	1) huoltokirja 2) suunnitelmat
5 Lämmi- tysjärjes- telmä	Asennukset <ul style="list-style-type: none"> • Lämmitys- ja jäähdytysverkostojen esisäätö ^{a,c} • Laitteiden lopullinen viritys ^{a,d} Asiakirjat <ul style="list-style-type: none"> • Käyttöönotto tullaan tekemään urakkarajaliitteen mukaisesti ^a Käyttökoulutus <ul style="list-style-type: none"> • Järjestelmään perehdyttäminen kirjallisessa koulutussuunnitelmassa ^{a,b} 	a) tarkistus b) päivitys c) säätö d) viritys		*) tilaaja **) toimittaja	1) huoltokirja 2) suunnitelmat
6 Vesi- ja viemärijär- jestelmä	Asennukset <ul style="list-style-type: none"> • Toimintakokeet on tehty ^a Käyttökoulutukset <ul style="list-style-type: none"> • Järjestelmään perehdyttäminen kirjallisessa koulutussuunnitelmassa ^{a,b} 	a) tarkistus b) päivitys		*) tilaaja **) toimittaja	1) huoltokirja 2) suunnitelmat
7 Sähkön- jakelujär- jestelmä	Sähkölaitteistojen turvallisuus ja toimivuus <ul style="list-style-type: none"> • Sähköasennusten pienjännitesähköasennusstandardin (SFS 6000-6-61) mukaiset mittaukset ja testaukset ^{a,c,d} • Koekäytöt (muuntamot, varavoimalaitokset, loistehon kompensointilaitokset, akkulataamot, sähköverkko laitteineen) ^{a,e} • Sähkölämmitysjärjestelmät ^{a,d} • Ohjaustermostaattien asetusarvot ^{a,f} Energiankäytön valvonta- ja mittausjärjestelmät <ul style="list-style-type: none"> • Virtamuuntajien muuntosuhteet ^{a,f} • Mittarien pulssisuhteet datojen tallennusjärjestelmässä ^{a,f} Sähkönkäytön seurantaan liittyvät mittaukset <ul style="list-style-type: none"> • Rakennuksen sähkönkäytön tyhjäkäyntituntikeskitehot (rakennuksen minimitehot ilman sähkölämmitys-jäähdytyskuormia) ^{a,b} • Ilmanvaihtojärjestelmän ominaissähkötehot (SFP-luvut) ^{a,c} Käyttökoulutus <ul style="list-style-type: none"> • Sähkönjakelujärjestelmän käyttö kirjallisessa koulutussuunnitelmassa ^{a,b} 	a) tarkistus b) päivitys c) mittaus d) testaus e) muutos f) viritys		*) tilaaja **) toimittaja	1) huoltokirja 2) suunnitelmat

8 Valaistusjärjestelmät, valaisimet	Valaistus <ul style="list-style-type: none"> Valaistusolosuhteet tavoiteasetetannan mukaiset ^{a,b,e} Valonlähteet ja valaisimet suunnitelmien mukaiset ^{a,b,e} Valaistuksen ohjausjärjestelmän toimintakokeet ^{a,d} Valaistuksen ohjausajajat ^{a,f} Ulkovalaistuksen ohjaus tapahtuu valoisuuden ja aikaohjelman mukaan ^{a,e} Käyttökoulutus <ul style="list-style-type: none"> Valaistuksen käyttö kirjallisessa koulutussuunnitelmassa ^{a,b} 	a) tarkistus b) päivitys c) mittaus d) testaus e) muutos f) viritys		*) tilaaja **) toimittaja	1) huoltokirja 2) suunnitelmat
9 Automaatio, käyttö ja informaatiojärjestelmät	Asennukset (ST 711.04, ST 730.01, ST 730.02) <ul style="list-style-type: none"> Laittevalinnat ^{a,e} Laitemerkinnät kentällä ja graafisessa valvomo-ohjelmassa ^{a,e} Anturit mittausteknisesti oikeissa paikoissa suunnitelmien mukaisesti ^{a,e} Kentälaitteiden sijoitus saumattoman huollon kannalta ^{a,e} Järjestelmän mekaaninen ja sähköinen toimivuus laitekohtaisesti ^{a,d} Anturien kalibrointi ja lukemat ^{a,c,f} Säätökaavioiden toiminnallisuus ^{a,d} Säätökaavioiden sisään- ja ulostulot ^{a,d} Säätökaavioiden laitteiden oikeat pyörimis- ja toimintasuunnat ^{a,e} Hälytyspisteiden testaus hälyttäviltä laitteilta asti aiheuttamalla hälytys ^{a,c,d} Lukitukset ja turvatoiminnot ^{a,d} Ohjelmointi (ST 711.04, ST 730.02) <ul style="list-style-type: none"> Käyttö- ja aikaohjelmien sekä raja-arvojen suunnitelmien mukainen toiminta ^{a,d} Säätöpiirien porrastuksien, kompensointikäyrien ja keskiarvolaskentojen toiminta ^{a,d} Ohjelmointi urakka-asiakirjojen mukaisessa laajuudessa ^{a,e} Valvomon ja sen ohjelmitteiden toiminta ^{a,d} Liittynät ulkoisiin järjestelmiin ^{a,d} 	a) tarkistus b) päivitys c) mittaus d) testaus e) muutos f) viritys		*) tilaaja **) toimittaja	1) huoltokirja 2) suunnitelmat

<p>10 Muut järjestelmät, hissit, sprinklaus, tietoliikenne</p>	<p>Asiakirjat (ST 711.12)</p> <ul style="list-style-type: none"> • Suunnitelmapäivitysten jatkuva päivitys siten, että ne vastaavat toteutettua kokonaisuutta ^{a,b} • Luovutusasiakirjojen paikkansapitävyys ja sisältö ^{a,b} • Automaatioon liitetyt pistemittauspöytäkirjat, toimivuuden todentamismittaukset ja -raportit ^{a,b} <p>Käyttö- ja huolto-ohjeet (RakMK A4)</p> <ul style="list-style-type: none"> • Käytönopastuksen ja koulutuksen saaneiden henkilöiden osallistuminen toimintakokeeseen ^{a,b} • Automaatiojärjestelmälle laaditut kirjalliset käyttö- ja huolto-ohjeet ^{a,b} • Käyttö- ja huolto-ohjeet suomenkielisinä ^{a,b} <p>Käyttökoulutus</p> <ul style="list-style-type: none"> • Käyttökoulutuskunnalle annettu peruskoulutus ^{a,e} • Käyttökoulutuskunnalle annettu tai suunniteltu järjestelmäkoulutus ^{a,e} • Takuuajaiset käyttökoulutusten suunnitelmat ^{a,b} 				
<p>11 Järjestelmien integrointi</p>	<p>Järjestelmät</p> <ul style="list-style-type: none"> • Järjestelmien ja laitteiden lopullinen viritys ^{a,b} <p>Toimintakokeet</p> <ul style="list-style-type: none"> • Toimintakokeiden kirjallinen suunnitelma ^{a,b} • Toimintakokeiden testauspöytäkirjat ^{a,b} • Toimintakokeiden tulosten koostettu yhteenvedoraportti ^{a,b} • Urakoitsijoiden välisen yhteistyön tehokkuus ^{a,e} • Urakoitsijoiden välisen tiedonvaihdon tehokkuus ^{a,e} • Urakoitsijoiden välisen tiedonvaihdon yksityiskohtaiset kirjalliset aikataulut ^{a,e} <p>Sääto ja viritystoimenpiteet</p> <ul style="list-style-type: none"> • Virityksen ja kalibrointien aikana prosessin kaikkien osien lopullinen valmiusaste ^{a,e,f} 	<p>a) tarkistus b) viritys</p>			<p>1) huoltokirja 2) suunnitelmat</p>
		<p>a) tarkistus b) päivitys c) mittaus d) testaus e) muutos f) viritys</p>		<p>*) tilaaja **) toimittaja</p>	<p>1) huoltokirja 2) suunnitelmat</p>

	<ul style="list-style-type: none"> • Lämmitysprosessin säädön viritykset talviolosuhteissa ^{a,f} • Jäähdytysprosessin säädön viritykset kesäolosuhteissa ^{a,f} <p>Koekäyttö</p> <ul style="list-style-type: none"> • Laitteistojen kokonaistoiminnan testaus normaaleissa käyttöolosuhteissa ^{a,d} • LVISA-urakoitsijoiden suorittamat laitteidensa lopulliset viritykset ennen koekäyttöä ^{a,e,f} • Talvi- ja kesäolosuhteita vaativien prosessien koekäyttö takuuajana ^{a,e} <p>Vastaanotto</p> <ul style="list-style-type: none"> • Järjestelmän toteutuksen vastaavuus sopimusasiakirjojen sisältöä ^{a,b,e} • LVISA-urakoitsijoiden toimitukseen sisältyvät luovutusdokumentit käytettävissä ^{a,b,e} 				
<p>12 Projektin johto</p>	<p>Johtaminen</p> <ul style="list-style-type: none"> • ToVa-suunnitelma kirjallisena ^{a,b} • Takuuajan toimintakoe sisältyy suunnitelmiin ^{a,b} • Talotekniikan valvojen koulutussuunnitelma kirjallisena ^{a,e} • Käyttöhenkilökunnan koulutussuunnitelma kirjallisena ^{a,e} 	<p>a) tarkistus b) päivitys c) muutos</p>	<p>ToVa- vastuu- henkilö</p>	<p>*) käyttäjä</p>	<p>1) huoltokirja 2) suunnitelmat</p>

7 Säännöllinen jatkuva toimivuuden varmistus

Osa-alue	ToVa-toimenpiteet	Menetelmät Menettelyt	Vastuu	Pvm.	Hyväksyntä	Dokumen- tointi
1 Rakennus	Energiankulutus <ul style="list-style-type: none"> Energiankulutusarvot valituille ja asennetuille tuotteille ovat käytössä ^a Energiankulutuksen seuranta ja poikkeustarkastelu, vertailu tavoitteisiin ^a Tariffien määräaikaisselvitys ^a Koulutus <ul style="list-style-type: none"> KH-henkilöstön koulutus ^{a,b} Käytön vaikutus rakennuksen toimivuuteen ja olosuhteisiin ^a Huoltoilikkeen vaihdossa ”koulutuspakko” ^a Toimintakunnan tutkimukset ^a Käyttö <ul style="list-style-type: none"> Palautekanava käyttäjille ^{a,c,1} 	a) tarkistus b) KH:n pätevyyden sertifiointi c) muutos			*) kiint.päällikkö **) ylläpito- operaattori	1) huoltokirja
2 Tilat	Energiankulutus ja olosuhteet <ul style="list-style-type: none"> Olosuhdeseuranta ^a Korjaavat toimenpiteet järjestelmien kautta ^a Vastaako käyttö alkuperäisiä talotekniikan asetuksia ^{a,b} 	a) tarkistus b) käyttäjä- kyselyt				1) kulutusra- portit
3 Vaippa, seinät, yläpohja, alapohja, ikkunat ja ovet	Rakenteet <ul style="list-style-type: none"> Ongelmatilanteet ^{a,b,c,d} 	a) kerta- luonteiset mittaukset b) käyttäjä- kyselyt & feedback c) U-arvojen mittaus d) lämpö- kamera				1) huoltokirja 2) mittauspöy- täkirja

4 Ilmastoin- ti- ja jäähdy- tysjärjestel- mät	Järjestelmä <ul style="list-style-type: none"> • Toimivuuden seurantamittaukset ^a • LTO:n hyötysuhde ^a • Käyntiajat ^a • Poikkeamien selvittäminen ^{a,b} Käyttö <ul style="list-style-type: none"> • Toteutuneet ilmanvaihtomäärät ^{a,c} • Laitteiden todelliset hyötysuhteet (LTO, puhaltimet, pumput) ^{a,c} 	a) tarkistus b) korj. tp. c) energia- laskennan lähtötietojen päivitys				1) huoltokirja
5 Lämmi- tysjärjes- telmä	Järjestelmä <ul style="list-style-type: none"> • Toimivuuden seurantamittaukset ^a • Poikkeamien selvittäminen ^{a,b,c} 	a) tarkistus b) korj. tp. c) kl. tilaus- teho				1) käyttäjä- palaute 2) huoltokirja
6 Vesi- ja viemäri- järjestelmä	Järjestelmä <ul style="list-style-type: none"> • Toimivuuden seurantamittaukset ^a • Poikkeamien selvittäminen ^{a,b,c} 	a) tarkistus b) korj. tp. c) kl. tilaus- teho				1) huoltokirja
7 Sähkön- jakelujär- jestelmä	Järjestelmä <ul style="list-style-type: none"> • Toimivuuden seurantamittaukset ^a • Poikkeamien selvittäminen ^{a,b} Tarkistettavat asiat <ul style="list-style-type: none"> • Loistehon kompensointi (toimivuus/tarve) ^a • Sähkötariffi ^a • Sähkölämmitysjärjestelmien toiminta on estetty lämmityskauden ulkopuolella ^a • PC-työasemien, tulostimien, kopiokoneiden ym. toimistolaitteiden energiansäästöasetukset on aseteltu toimintaan ja vastaamaan laitteiden käyttöprofiilia ^a • Käyttöhenkilökuntaa on opastettu käyttö- ja huoltokykimistä ja niiden merkityksestä energiankulutukseen (esim. keittiön lämpölaitteiden pääkytkin, ilmastoinnin ja valaistuksen lisäaikakykimet) ^a 	a) tarkistus b) mittaus				1) huoltokirja

8 Valais- tusjärjes- telmät, valaisimet	Järjestelmä <ul style="list-style-type: none"> • Toimivuuden seurantamittaukset ^a • Poikkeamien selvittäminen ^{a,b} 	a) tarkistus b) mittaus				1) huoltokirja
9 Automaatio-, käyttö- ja informaatiojärjestelmät	Järjestelmä <ul style="list-style-type: none"> • Järjestelmän toimintoja testataan ja huolletaan määrävälein ^a • Järjestelmän toiminnolle on laadittu kirjallinen testi- ja huolto-ohjelma ^a • Laitteiden toimintaa ja kuntoa tarkkaillaan jatkuvasti määrävälein kentällä silmä määrääisesti ^a • Järjestelmän käynnistyminen sähkökatkon jälkeen tarkistetaan määrävälein ^a • Palo- ja murtohälytykset tarkistetaan määrävälein ^a • Muut erittäin kiireelliset hälytykset tarkistetaan määrävälein ^a • Hälytysten edelleen annot tarkistetaan määrävälein ^a • Toiminnan kannalta keskeisten mittausten lukemien ja anturien kalibrointi määrävälein ^a • Säätöpiiriin toiminnan tarkistus kentältä ja trendiseurannalla määrävälein ^a • Kaikkien järjestelmään liitettyjen pisteiden testaus ja näytön tarkistus kentältä valvomoon ja päiväastoin kerran vuodessa ^a • Automaatioon liitettyjen olosuhde- ja kulutusmittausten seuranta ja vertailu tavoitteisiin ^a • Järjestelmien ja laitteiden toimivuuden seurantamittaukset ja muut seurantatiedot ^a • Poikkeamien seuranta & hälytykset ^a 	a) tarkistus b) mittaus c) käytön aikaiset toimintakokeet 1–2 v.	*) huoltohenkilöstö **) suunnittelija			1) huoltokirja
10 Muut järjestelmät, hissit, sprinklaus, tietoliikenne	Järjestelmä <ul style="list-style-type: none"> • Määräaikaistestit ^{a,b} • Palohälytystestit ^{a,b} 	a) tarkistus b) korjauvat toimenpiteet				1) huoltokirja
11 Järjestelmien integrointi	<ul style="list-style-type: none"> • Aikajauhausten integrointi ^{a,b} • Lämmityksen seuranta rakennusautomaatiolla ^{a,b} 	a) tarkistus b) korjauvat toimenpiteet				1) tekninen toimivuus RAJ:n kautta
12 Projektin johto	<ul style="list-style-type: none"> • ToVa-suunnitelman laadinta ja ylläpito ^a • Huoltokirjan ylläpito/käyttö ^a 	a) tarkistus	*) ToVa-vast.			1) huoltokirja

Liite B: Sisäilmastoon liittyvä vaatimustaulukko

LÄMPÖILOJEN TAVOITEARVOT					
Ominaisuus	Määritelmä	Yksikkö	Sisäilmaluokka, enimmäisarvot		
			S1	S2	S3
Huonelämpötila	Talvi	°C	(21–22)	20–22	20–23
	Kesä	°C	(23–24)	23–26	22–27 (35)
Huonelämpötilan tilapäinen poikkeama		°C	± 0,5	± 1	± 2
Lattian pintalämpötila		°C	19–29	19–29	17–31
Lämpötilaero pystysuunnassa		°C	2	3	4
Ilman nopeus	Talvi (20 °C)	m/s	0,13	0,16	0,19
	Talvi (21 °C)	m/s	0,14	0,17	0,20
Ilman nopeus	Kesä (24 °C)		0,20	0,25	0,30
Ilman suhteellinen kosteus	Talvi	%	25–45	-	-
ILMAN LAADUN TAVOITEARVOT					
Radon	Rn	Bq/m ³	100	100	200
Hiilidioksidi	CO ₂	ppm	700	900	1200
Hiilidioksidi	CO ₂	mg/m ³	1300	1650	2200
Ammoniakki ja amiinit	NH ₃	µg/m ³	30	30	40
Formaldehydi	H ₂ CO	µg/m ³	30	50	100
Haihtuvat orgaaniset yhdisteet	TVOC	µg/m ³	200	300	600
Hiilimonoksidi	CO	mg/m ³	2	3	8
Otsoni	O ₃	µg/m ³	20	50	80
Hajuvoimakkuus (intensiteettiasteikko)		-	3	4	5,5
Mikrobit			Ei enimmäisarvoa (huom.)		
Tupakan savu tupakoimattomien tiloissa			Ei aistittavissa (huom.)		
Hiukkaspitoisuus	PM ₁₀	µg/m ³	20	40	50
AKUSTISTEN OLOSUHTEIDEN TAVOITETASOT					
Lämmitys- ja ilmastointilaitteiden äänenpainetaso	Toimistot (LA,eq,T)	dA(A)	30	33	33
	As.keittiöt (LA,eq,T)	dA(A)	30	33	33
	Muut as.h. (LA,eq,T)	dA(A)	25	28	28
ULKOVAIPAN ILMANPITÄVYYS (LVI-suunnittelussa käytettävät)					
Alle 3-kerroksiset rakennukset	n ₅₀ (50 Pa)	1/h	2,0	2,0	3,0
Korkeammat rakennukset	n ₅₀ (50 Pa)	1/h	1,0	1,0	2,0
RAKENNUSMATERIAALIEN PÄÄSTÖLUOKITUS (mg/m ² h)					
	TVOC	H ₂ CO	NH ₃	IARC	HAJU ¹⁾
M1	< 0,2	< 0,05	< 0,03	< 0,005	ei haise (<15 %)
M2	< 0,4	< 0,125	< 0,06	< 0,005	ei merkittävä (<30 %)
M3	Materiaalit, jotka ylittävät luokan M2-arvot (testatut)				

¹⁾ Haihtuvat orgaaniset yhdisteet. Formaldehydi. Ammoniakki. Karsinogeeniset yhdisteet.

Liite C: Ilmanvaihtojärjestelmän elinkaarikustannukset

Julkaisussa ”Päiväkotien ilmanvaihto. Loppuraportti” (Jalas & Kimari 2002) on laskettu ilmanvaihtojärjestelmän elinkaarikustannukset yhden kohteen lähtötietojen perusteella. Laskennan tavoitteena oli osoittaa, kuinka paljon mitoitusilmavirtojen kasvattaminen (ts. ilmanvaihdon tason nostaminen) aiheuttaa lisäkustannuksia sekä investointeihin että energiankulutukseen. Investointikustannusten laskennassa raportissa on tarkasteltu kustannuksia vain ilmanvaihto-osien ja säätölaitteiden osalta.

Kohde on päiväkotiki, jossa on tilat kolmelle päiväkotiryhmälle ja kahdelle esiopetusryhmälle sekä keittiö ja jumppasali. Hoitopaikkoja yhteensä 80 lapselle. Kohteen pinta-ala on 1 115 m² ja tilavuus 4 250 m³.

Tilojen ilmamäärien mitoituksessa on käytetty Suomen rakentamismääräyskokoelman osan D2 ohjearvoja (vähimmäistaso), Sisäilmastoluokituksen SL-95 luokan S2 ohjearvoja (taso 1) sekä Sisäilmastoluokituksen 2000 sisäilmaluokan S2 ohjearvoa (taso 2). Mitoitusperusteet esitetään taulukossa 1.

Taulukko 1. Ilmavirtojen mitoitusperusteet lepo- ja leikkihuoneissa.

	Vähimmäistaso	Taso 1	Taso 2
Ilmavirta lattiapinta-alaa kohden (l/s, m ²)	2	3	-
Ilmavirta henkilöä kohden (l/s, hlö)	5	7,5	8

Ryhmätilojen ilmavirtojen mitoitus on tehty pinta-alaperusteisesti vähimmäistason ja tason 1 mukaisissa ratkaisussa. Tason 2 mukaisessa ratkaisussa on käytetty Sisäilmastoluokituksen 2000 ohjeen mukaista ilmavirtaa 8 l/s henkilöä. Ryhmän koko on 20 henkilöä. Muiden tilojen ilmavirtojen mitoitus on tehty rakentamismääräyskokoelman osan D2 ohjearvojen mukaan pinta-alaperusteisesti. Tason 1 ja tason 2 mitoitusperusteina on käytetty keväällä 2001 lausuntokierroksella olleen rakentamismääräyskokoelman osan D2 version ohjearvoja pinta-alaperusteisesti.

Taulukossa 2 esitetään ilmamäärät, joiden perusteella on tehty konekoon valinta (investointikustannukset) ja energiankulutuksen laskenta.

Taulukko 2. Konekoot eri suunnitteluratkaisuissa.

	Vähimmäistaso		Taso 1		Taso 2	
	Tulo m ³ /s	Poisto m ³ /s	Tulo m ³ /s	Poisto m ³ /s	Tulo m ³ /s	Poisto m ³ /s
Hoitotilojen tulo-poistokone	1,5	1,4	2,3	1,9	2,7	2,3
Keittiön tulo-poistokone	0,4	0,4	0,4	0,4	0,6	0,6
Huippuimuri (wc- ym. tilat)	-	0,5	-	0,7	-	0,7

Hoitotilojen koneen lämmöntalteenottotapa on pyörivä kiekko. Keittiön koneessa ei ole lämmöntalteenottoa.

Investointikustannukset on laskettu Talonrakennuksen kustannustieto 2001 -kirjan tietojen mukaan (alue 3 eli kasvukeskukset). Taulukossa 3 esitetään investointikustannukset eri suunnitteluratkaisuille.

Taulukko 3. Investointikustannukset eri suunnitteluratkaisuille.

	Vähimmäistaso	Taso 1	Taso 2
Ilmanvaihtokojeet (alv 0 %)	23 832 EUR	27 152 EUR	27 976 EUR
Kanavat (alv 0 %)	17 628 EUR	22 128 EUR	24 191 EUR
Päätelaitteet (alv 0 %)	15 341 EUR	15 341 EUR	15 341 EUR
Säätölaitteet (alv 0 %)	9 138 EUR	9 138 EUR	9 138 EUR
Yhteensä (alv 0 %)	65 940 EUR	73 760 EUR	76 647 EUR
Yhteensä (alv 22 %)	80 447 EUR	89 988 EUR	93 510 EUR

Taulukko 4. Investointikustannusten (alv 22 %) ero verrattuna vähimmäistason mukaiseen suunnitteluratkaisuun.

	Ero	
Taso 1	+ 9 541 EUR	+ 12 %
Taso 2	+ 13 063 EUR	+ 16 %

Investointikustannuksiltaan tason 1 mukainen suunnitteluratkaisu olisi noin 9 500 euroa eli 12 % kalliimpi kuin vähimmäistason mukainen suunnitteluratkaisu. Jos kohteen ilmanvaihto toteutettaisiin tason 2 mukaan, olisi investointi noin 13 000 euroa eli 16 % kalliimpi. (Ks. taulukko 4.)

Energiankulutuksesta raportissa käsiteltiin ilmanvaihdon lämmitystä sekä tulo- ja poistoilmakoneiden puhaltimien sähköä. Ilmanvaihdon lämmityksen tarvitsema vuotuinen energia laskettiin Suomen rakentamismääräyskokoelman osan D5 mukaan. Sijaintipaikkakuntana on käytetty Oulua (alue III).

Tulo- ja poistoilmakoneiden puhaltimien sähkönkulutuksen laskennassa hyödynnettiin puhaltimien ominaissähkötehoa.

Laskennan lähtötiedot:

Käyntiajat

- hoitotilojen kone täydellä ilmavirralla: 12 h/vrk, 5 vrk/vko, 50 vkoa
- keittiön kone: täydellä ilmavirralla 7 h/vrk, puolitetulla 5 h/vrk, 5 vrk/vko, 50 vkoa
- huippuimuri: täydellä ilmavirralla 12 h/vrk, puolitetulla teholla öisin, viikonloppuisin ja lomilla

Ominaissähkötehot

- hoitotilojen kone: SFP_v 2,5 kW/m³/s
- keittiön kone: SFP_v 2,5 kW/m³/s
- huippuimuri: SFP_v 1,13 kW/m³/s

Tuloilman lämpötila

- hoitotilojen kone 20 °C
- keittiön kone 18 °C

Taulukossa 5 esitetään vuotuinen sähkönkulutus eri suunnitteluratkaisuille.

Taulukko 5. Vuotuinen sähkönkulutus eri suunnitteluratkaisuille.

	Vähimmäistaso	Taso 1	Taso 2
Hoitotilojen kone (MWh)	11,25	17,25	20,25
Keittiön kone (MWh)	1,83	1,83	1,83
Huippuimuri (MWh)	1,91	2,67	2,67
Kulutus yhteensä (MWh)	15,0	21,8	24,8
Ominaiskulutus (kWh/m ³)	3,5	5,1	5,8

Taulukko 6. Sähkönkulutuksen ero verrattuna vähimmäistason mukaiseen suunnitteluratkaisuun.

	Ero	
Taso 1	+ 8,6 MWh + 1,6 kWh/m ³	+ 46 %
Taso 2	+ 9,8 MWh + 2,3 kWh/m ³	+ 66 %

Sähkönkulutus kasvaa tason 1 suunnitteluratkaisussa 46 % ja tason 2 suunnitteluratkaisussa 66 % vähimmäistason verrattuna (ks. taulukko 6).

Lämmön kulutuksen laskennan tulokset esitetään taulukossa 7. Hoitotilojen koneen pyörivän lämmönsiirtimen vuosihyötysuhde on arvioitu ABB:n mitoitusohjelmistoa käyttäen. Konevalinta tehtiin mitoitusohjelmistolla ja laskelman tuloksena saatiin lämmöntalteenoton vuosihyötysuhteeksi 84 %. Pyörivän lämmönsiirtimen huurtumislämpötila on ABB:n mitoitusohjelmiston mukaan -25 °C.

Taulukko 7. Lämmön kulutus eri suunnitteluratkaisuille.

	Vähimmäistaso	Taso 1	Taso 2
Hoitotilojen kone	13,86	21,25	24,95
Keittiön kone	16,29	16,29	16,29
Kulutus yhteensä (MWh)	30,2	37,5	41,2
Ominaiskulutus (kWh/m ³)	7,1	8,8	9,7

Taulukko 8. Lämmön kulutuksen ero verrattuna vähimmäistason mukaiseen suunnitteluratkaisuun.

	Ero	
Taso 1	+ 7,3 MWh + 1,7 kWh/m ³	+ 24 %
Taso 2	+ 11,0 MWh + 2,6 kWh/m ³	+ 36 %

Lämmön kulutus kasvaa tason 1 suunnitteluratkaisussa 24 % ja tason 2 suunnitteluratkaisussa 36 % vähimmäistason verrattuna (ks. taulukko 8).

Sähkön kulutusmaksun suuruudeksi valittiin 67 EUR/MWh. Lämmön kulutusmaksun suuruudeksi valittiin 28 EUR/MWh. Hinnat sisältävät arvonlisäveron 22 %, mutta eivät perusmaksua. (Taulukko 9.)

Taulukko 9. Vuotuisen energiankulutuksen kustannus.

	Vähimmäistaso	Taso 1	Taso 2
Sähkön kulutuksen kustannus	1 009 EUR	1 463 EUR	1 665 EUR
Lämmön kulutuksen kustannus	841 EUR	1 043 EUR	1 144 EUR
Kustannukset yhteensä	1 850 EUR	2 506 EUR	2 809 EUR

Taulukko 10. Vuotuisen energiankulutuksen kustannusten ero verrattuna vähimmäistason mukaiseen suunnitteluratkaisuun.

	Ero	
Taso 1	+ 656 EUR	+ 35 %
Taso 2	+ 959 EUR	+ 52 %

Vuotuisen energiankulutuksen kustannus on tason 1 mukaisessa suunnitteluratkaisussa 35 % ja tason 2 mukaisessa suunnitteluratkaisussa 52 % vähimmäistasoaa suurempi (ks. taulukko 10).

Raportissa tarkasteluun on otettu vain järjestelmän hankinnasta aiheutunut investointikustannus ja energiankulutuksesta aiheutunut kustannus. Huolto- ja kunnossapitokustannukset on jätetty laskennasta pois, koska vertailu on tehty samanlaiselle järjestelmälle eli keskitetylle vakioilmavirtajärjestelmälle.

Tarkasteltavaksi ajanjaksoksi valittiin 25 vuotta. Elinkaari valittiin tarkoituksella näin lyhyeksi, koska 25 vuoden päästä rakennuksen toiminnalliset muutostarpeet voivat olla niin suuret, että samassa yhteydessä myös ilmanvaihtojärjestelmän täydellinen uusiminen on tarpeenmukaista. Reaalikorkona on käytetty 4 %. (Taulukko 11.)

Taulukko 11. Nykyarvot (25 vuotta, reaalikorko 4 %) eri suunnitteluratkaisuille.

	Vähimmäistaso	Taso 1	Taso 2
Hankinta	80 446 EUR	89 988 EUR	93 510 EUR
Energia	28 913 EUR	39 083 EUR	43 868 EUR
Yhteensä	109 360 EUR	129 071 EUR	137 378 EUR

Taulukko 12. Nykyarvojen ero verrattuna vähimmäistason mukaiseen suunnitteluratkaisuun.

	Ero	
Taso 1	+ 19 711 EUR	+ 18 %
Taso 2	+ 28 018 EUR	+ 26 %

Nykyarvoltaan tason 1 mukainen suunnitteluratkaisu olisi 18 % ja tason 2 mukainen suunnitteluratkaisu 26 % vähimmäistasoa suurempi (ks. taulukko 12).

Mitkä ovat kustannukset hoitopaikkaa kohti? Päiväkodissa oletetaan olevan 80 hoitopaikkaa. Annuiteettikertoimella voidaan jakaa investointi tasasuuruiseksi vuosikustannuksiksi tuleville vuosille. Jos laskentakorko on 4 % ja investoinnin pitoaika on 25 vuotta, tulee kertoimeksi 0,064012.

Taulukossa 13 esitetään vuotta ja hoitopaikkaa kohti lasketut kustannukset ja taulukossa 14 kustannusten ero vähimmäistason verrattuna.

Taulukko 13. Hoitopaikkaa kohti laskettu investointikustannuksen annuiteetti sekä energiankulutuksen kustannukset eri suunnitteluratkaisulle.

	Vähimmäistaso	Taso 1	Taso 2
Investointi yhtä hoitopaikkaa kohti	64 EUR	72 EUR	75 EUR
Energiankulutus yhtä hoitopaikkaa kohti	23 EUR	31 EUR	35 EUR
Kustannukset yhteensä	88 EUR	103 EUR	110 EUR

Taulukko 14. Hoitopaikkaa kohti lasketun vuosikustannusten ero verrattuna vähimmäistason mukaiseen suunnitteluratkaisuun.

	Ero	
Taso 1	+ 16 EUR	+ 19 %
Taso 2	+ 22 EUR	+ 26 %

Tason 1 mukaisen suunnitteluratkaisun lisäkustannus hoitolasta kohti olisi vuodessa noin 16 euroa verrattuna vähimmäistason mukaiseen suunnitteluratkaisuun.

Tason 2 mukaisen suunnitteluratkaisun lisäkustannus hoitolasta kohti olisi vuodessa noin 22 euroa verrattuna vähimmäistason mukaiseen suunnitteluratkaisuun.

Päiväkotihoidosta peritään kuukausimaksu, joka määräytyy perheen koon ja maksukyvyn mukaan. Oulun kaupungissa oli käytäntönä, että maksu peritään enintään 11 kuukaudelta toimintavuoden aikana. Maksun enimmäismäärä on 200 euroa/kk lasta kohti. Yhden lapsen vuotuinen vanhempien maksama hoitomaksu on siis maksimissaan 2 200 euroa.

Kun ilmamäärien suurentamisesta aiheutuva lisäkustannus suhteutetaan vuotuisen hoitomaksuun, lisäkustannus on vain noin **yhden prosentin suuruusluokkaa vanhempien maksamasta päivähoitomaksusta.**

Edellä esitettyä laskelmaa voidaan käyttää myös toisinpäin: mitä ylimitoittaminen maksaa elinkaarikustannuslaskelman valossa? Laskelman tavoitteena on kuitenkin osoittaa, miten elinkaarikustannuslaskelman avulla voidaan esittää ilmanvaihdon laatutavoitteiden aiheuttama lisäkustannus minitavoitteeseen verrattuna. Koska esimerkkinä oli päiväkotia, sisäolosuhteista tinkiminen voi aiheuttaa huomattavasti suurempia kustannuksia/käyttäjää kuin hyvien olosuhteiden edellyttämä taso.

Liite D: Pientalon teknisen laadun kriteeristö

Vuoden 2005 asuntomessuilla arvioitiin pientalojen teknistä laatua antamalla kohteille tähtiä yhdestä viiteen. Jäljempänä esitetään käytetyn laadunarvioinnin periaatteet, joita voitaisiin soveltaa myös muuntyyppiseen rakentamiseen (Hekkanen 2005). Kohteiden laatu arvioitiin laatupisteiden avulla, jotka muodostuvat seuraavasti:

Kriteeristö:

- kosteuskestävyys
- sisäilmasto
- energiatehokkuus
- ympäristövaikutukset

Painotukset:

- kosteuskestävyys 30 %
- sisäilmasto 20 %
- energiatehokkuus 35 %
- ympäristövaikutukset 15 %

Kosteuskestävyys:

- Suunnittelu (80/100)
 - rakennuspaikan kuivatus
 - perustukset
 - vaipan rakenteet
 - märkätilat
 - talotekniset kalusteet
- Työmaan kosteuden hallinta (10/100)
 - olosuhdehallinta
 - sertifioidut kosteusmittaukset
 - kosteushallinnan toteutus
 - muut työmaan kosteudenhallintaa edistävät ratkaisut
- Asumiset kosteuden hallinta (10/100)
 - käytön ja huollon opastus
 - asumisen aikainen kosteuden hallinta
 - muut käytön kosteudenhallintaa edistävät ratkaisut

Sisäilmasto:

- Suunnittelu (50/100)
 - suunnitteluratkaisu
 - ilmanvaihtolaite
 - rakennusmateriaalit ja siivous
 - rakenteet ja järjestelmät
 - kosteuden kestävyys

- Työmaa (30/100)
 - työmaan laadunhallinta ja henkilöstön tieto- ja taitotaso
 - rakentamisen dokumentointi ja mittaukset ja säädöt
 - uuden rakennuksen tehostettu tuuletus

- Asumiset kosteuden hallinta (10/100)
 - käytön opastus ja huoltokirjan sisäilmaosio
 - laitteistojen sijoitus
 - huollontarve ja huoltotöiden vaativuus

Energiatehokkuus:

- Suunnittelu (70/100)
 - lämmön kokonaistarve
 - rakenteiden U-arvot
 - talotekniset järjestelmät
 - rakenteet ja järjestelmät
 - kosteuden kestävyys

- Toteutus (20/100)
 - ilmanvuotoluku
 - tiiviin rakentamisen tekniikka ja dokumentointi

- Asuminen (10/100)
 - huoltokirjan ohjeistus tehokkaaseen energiankäyttöön
 - paikantamispierrokset
 - kulutus seuranta

Ympäristövaikutukset:

- Suunnittelu (80/100)
 - CO₂-päästöt
 - tontti ja rakennuksen sijoitus tontille
 - rakennusmateriaalit ja rakenteet
 - tilasuunnittelu, muuntojousto, turvallisuus, esteettömyys
 - käyttöikäsuunnittelu
- Toteutus (10/100)
 - jätehuolto ja kierrätys
 - työnaikainen ympäristökuormitus
- Asuminen (10/100)
 - jätteiden lajittelu
 - tietoliikenneyhteyksien hyödyntäminen
 - systemaattinen huolto- ja kunnossapito

Elinkaarikustannusanalyysit:

- Edullisuus arvioidaan elinkaarikustannusten ja laatupisteen hinnan perusteella.
- Laatupisteen hinta määrittyy seuraavasti:
- $C_{qp} = \frac{\sum Q_p}{\sum LCC_{Building}}$, missä
 - C_{qp} = laatupisteen hinta €/piste
 - $\sum Q_p$ = laatupisteet yhteensä
 - $\sum LCC_{Building}$ = suunnitteluratkaisun LCC-kustannukset, € (nykyarvona).

Yhteenveto:

- Teknisen laadun mittauksessa käytettävät periaatteet ovat yleistettävissä.
- Menettelyä on testattu vuoden 2005 asuntomessujen pientalokohteissa.
- Menettelyn avulla voidaan ohjata suunnittelua ja verrata vaihtoehtoisten ratkaisujen elinkaariedullisuutta.
- Menettelyn avulla pientalot voidaan ”tähdittää”.

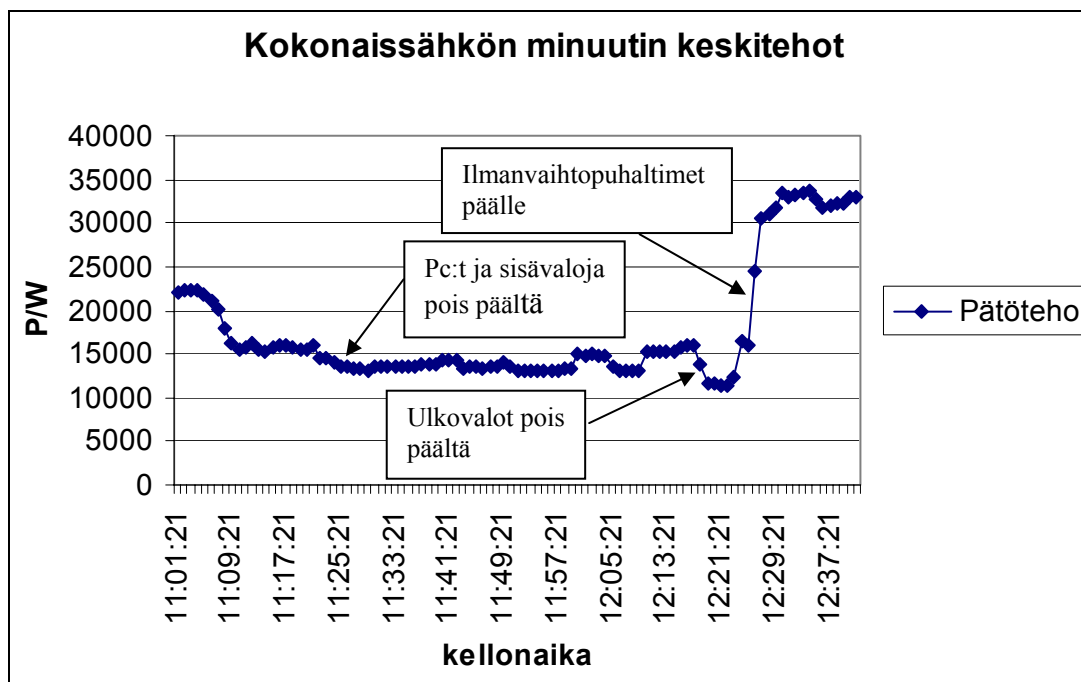
Liite E: Esimerkki rakennuksen sähkötehon määrittämisestä tyhjäkäynnissä

Esimerkkinä oleva koulu on uudisrakennus, joka on liitetty kaukolämpöverkkoon eikä siinä ole koneellista ilmanvaihdon jäähdytystä. Rakennusvaiheessa joitakin sähkön almittauksia päätettiin ottaa mukaan urakkaan ja liittää ne sekä laskutusmittarin pulssitiedot rakennusautomaatiojärjestelmän seurantaan.

Kokeen aikana (elokuu 2005) kiinteistä sähkömittauksista kytkettyinä ja toiminnassa olivat LVI-sähkökeskusten JK-IV1 ja JK-IV2 sekä keittiön sähkökeskus JK-1.2. Kokonaissähkötehon kiinteää mittausta ei vielä ollut kytketty kiinteistövalvontaan. Mittaus-tiedot kerätään rakennusautomaatiojärjestelmään. Kokonaissähkötehon mittausta varten kytkettiin sähköpääkeskukseen sähköenergian ja laadun mittaava siirrettävä mittaus-salkku.

Yötilannetta pidettiin päällä ryhmäkeskusten osalta yksi tunti klo 11–12. Kiinteistövalvontaan tallennettiin sähkön alamittausten pulssimäärät klo 11 ja 12. Niiden erotuksena saatiin kunkin alamittausten keskituntiteho ajalta 11–12. Pääkeskukseen kytketty mitta-laite keräsi yhden minuutin arvoja. Kokonaistehon osalta yökäyttötilanne oli päällä klo 11:25–12:00 (Kuva 1). Klo 12:n jälkeen määritettiin ulkovalaistuksen kokonaisteho kytkemällä se pois päältä ja ilmanvaihdon teho ohjaamalla se päiväkäytölle.

Kokonaistehon minuutin keskitehot (Kuva 1) vaihtelivat tarkastelujaksolla 11:25–12:00 13,1 kW:sta 14,8 kW:iin (keskimäärin 14 kW). Mittauksen aikana jännitetaso oli 233...235 V. Mittauksissa eivät olleet mukana keittiön kylmiöt 1 ja 2 (nimellistehot yhteensä 2,2 kW) eikä pakastin (nimellisteho 2,2 kW). Yökäyttötilanteessa oletetaan niiden toimivan nimellisteholla 20 % ajasta, jolloin niiden yhteensä ottamaksi keskituntitehoksi saadaan noin 900 W. Niiden lauhdutinyksiköiden sähkönkulutus yöaikaan on oletettavasti hyvin pientä. Kylmälaitteiden tuntikeskiteho 900 W vastaa suunnilleen niiden kahden huoneen valaistustehoa, jotka olivat käytössä mittauksen aikana.



Kuva 1. Kokonaissähkötöhon minuutin keskitehot klo 11–12:37.

Edellä esitetyn perusteella kokonaissähkönkulutuksen yöaikaisen (ulkovalaistus päällä) tuntikeskitehon tavoitetason minimiarvoksi saatiin noin 14 kW. Yöaikaan, jolloin ulkovalaistus (noin 3,5 kW) ei ole päällä, vastaava tavoitetaso on noin 10,5–11 kW (Kuva 1 klo 12:21). Lämmityskaudella pientä lisäystä näihin arvoihin voivat tuoda kattokaivojen lämmitykset ja kierrätysilmakojeiden sähkönkulutus, joiden kaikkien sähkönsyöttö on kytketty IV-konehuoneiden sähkökeskuksiin. Lisäksi IV1-sähkökeskukseen on kytketty talojakamon ja ATK-jakamon jäähdytyskojeiden sähkönsyöttö.

Ryhmäkeskuksista saatiin taulukossa 1 esitettävät mittaustulokset.

Taulukko 1. Ryhmäkeskusten mittaustulokset.

Sähkökeskus	pulssi-lkm. klo 11	pulssi-lkm. klo 12	pulsseja klo 11–12	keskituntiteho
JK-IV1	76113	76128	15	1,5 kW
JK-IV2	73357	73366	9	0,9 kW
JK-1.2(keittiö)	3388	3392	4	0,4 kW

Yöaikaisen sähkönkulutuksen tuntikeskitehojen tavoitetason minimiarvot sähkökeskuk-sittain ovat seuraavat: 1,5–2 kW (JK-IV1), 1 kW (JK-IV2), 1,5 kW (JK-1.2, keittiö, huomioitu kylmälaitteet).

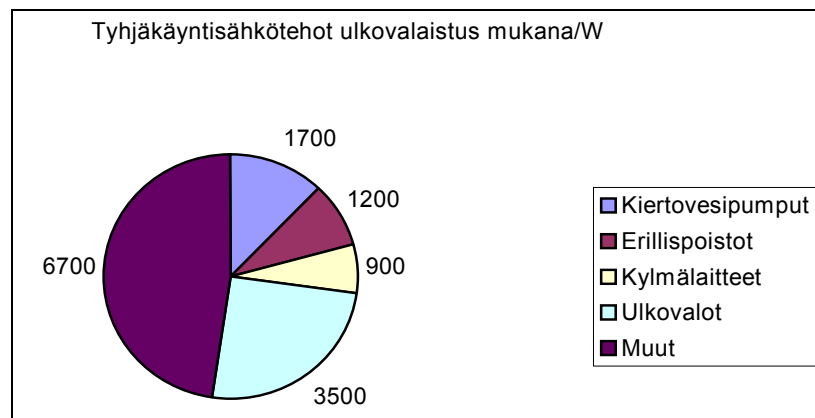
Ilmanvaihtopuhaltimien (5 ilmanvaihtokoneyksikköä) kokonaisteho saatiin selville käynnistämällä kaikki taajuusmuuttajilla ohjatut puhallinmoottorit samaan aikaan. Tämä käynnistys tapahtui alkaen klo 12:25 (Kuva 1), ja tulokseksi saatiin noin 22 kW:n tehon nousu. Ilmanvaihtopuhaltimien ominaissähkötehon mittauksessa saatiin puhaltimien yhteistehoksi 24 kW. Ilmanvaihdolla on 20 %:n tehostusmahdollisuus, jolloin sähköteho nousee edellä mainituista arvoista.

Ilmanvaihtopuhaltimien käynnistyttyä klo 12:30 kokonaisloistehon suuruudeksi mitattiin noin 13,5 kVAr (pätöteho noin 33 kW).

Kokonaissähkökulutuksen tyhjäkäyntikuormien (14 kW) arvioitu kulutusjakauma on kuvassa 2.

Ryhmä ”Muut” koostuu seuraavista laitteista (tehot nimellistehoja):

- VAK:t 3 kpl, yhteensä n. 600 W
- UPS n. 300 W
- turva- ja merkkivalojärjestelmä 1800 W
- antennijärjestelmän vahvistin 100 W
- äänentoistokeskus 3 kpl, 300 W
- keskuskello 200 W
- kulunvalvontajärjestelmän keskuslaitteet 800 W
- rikosilmoitusjärjestelmän keskuslaitteet 50 W
- videovalvontajärjestelmä 2500 W
- paloilmoitusjärjestelmä 50 W
- savunpoistojärjestelmä 50 W
- ATK-järjestelmän aktiivilaitteet, kytkimet 800 W/kpl, palvelimet 1500 W, yhteensä n. 3900 W
- muiden telejärjestelmien, kuten ovikellojen, muuntajat 15–50 W/kpl.



Kuva 2. Erään koulurakennuksen tyhjäkäyntitehon (14 kW) arvioitu jakauma.

Liite F: Esimerkki asukaskyselystä

Huoneiston haltijan nimi _____

Puhelinnumero _____

Omistan huoneiston _____ Asun huoneistossa vuokralla _____

Olen muuttanut huoneistoon vuonna _____

Huoneiston numero _____

Huoneistotyyppi (esim. 2h+k): _____

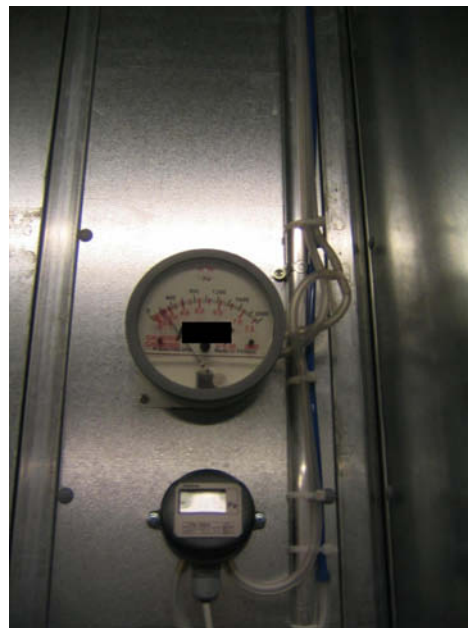
- | | Kyllä | Ei |
|--|-------|----|
| 1 Sisälämpötila
Sisälämpötila on asunnossani sopiva
liian matala
liian korkea | | |
| 2 Tuntuuko lattia häiritsevän kylmältä? | | |
| 3 Esiintyykö nurkissa häiritsevää vetoa? | | |
| 4 Esiintyykö ikkunoiden edessä häiritsevää vetoa? | | |
| 5 Tuntuuko sisäilman laatu asunnossani hyvältä?
(jos sisäilman laadun osalta tunnette ongelmia,
voitte yksilöidä ongelman lomakkeen kääntöpuolelle) | | |
| 6 Oletteko havainnut asunnossanne kosteusvaurioita?
(jos epäilette kosteusvauriota, kuvailkaa lomakkeen kääntöpuolelle,
missä kohdin asuntoa kosteusvaurio on) | | |
| 7 Oletteko tyytyväinen asuntonne ääneneristykseen? | | |
| 8 Oletteko havainnut pihalla tai kiinteistön yhteisissä tiloissa
ongelmia?
(kuvailkaa lomakkeen kääntöpuolelle, minkälaisia ongelmia) | | |
| 9 Haluatteko, että kuntoarvion yhteydessä tutkimme tarkemmin
asunnossanne olevat ongelmat? | | |

Kiitos jo etukäteen yhteistyöstänne!

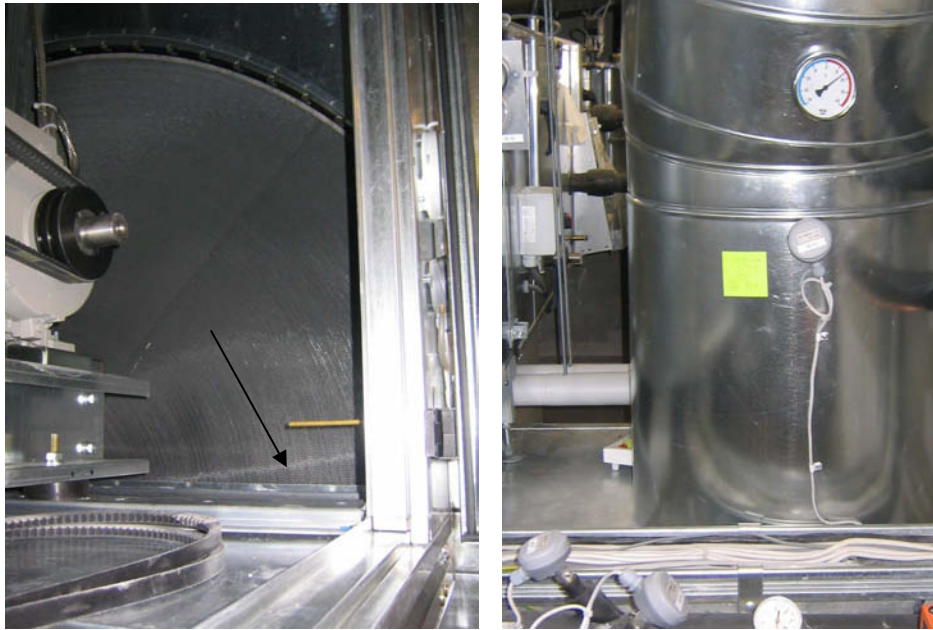
Liite G: Esimerkkejä toimivuuden varmistuksen yksityiskohdista



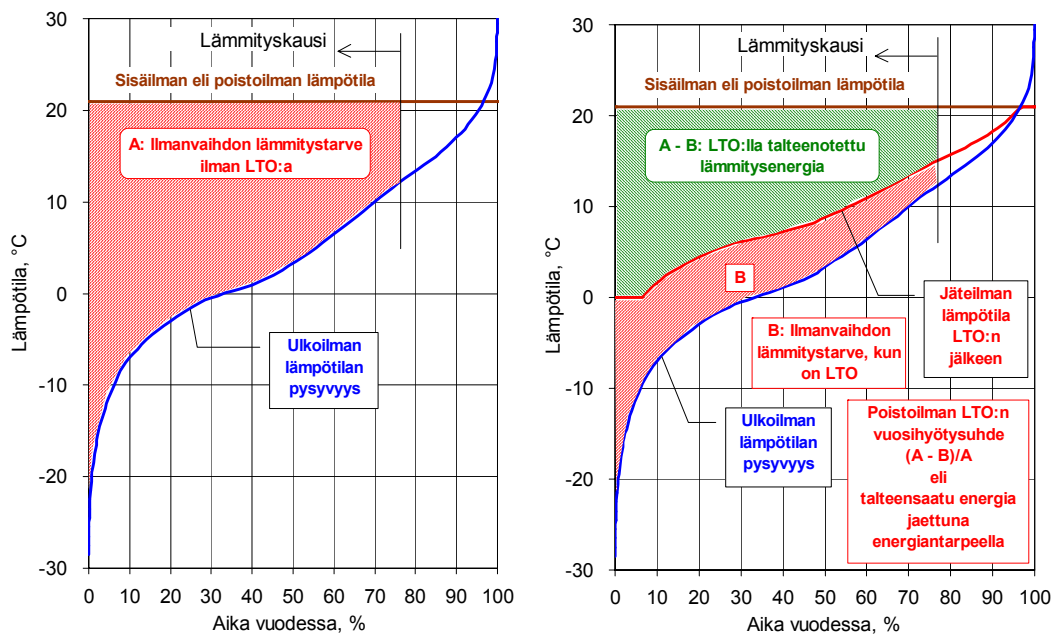
Kuva 1. Suunnitelmasta poikkeavan asennuksen vaikutus äänenkehitykseen, painehäviöön ja mittausepävarmuuteen on arvioitava.



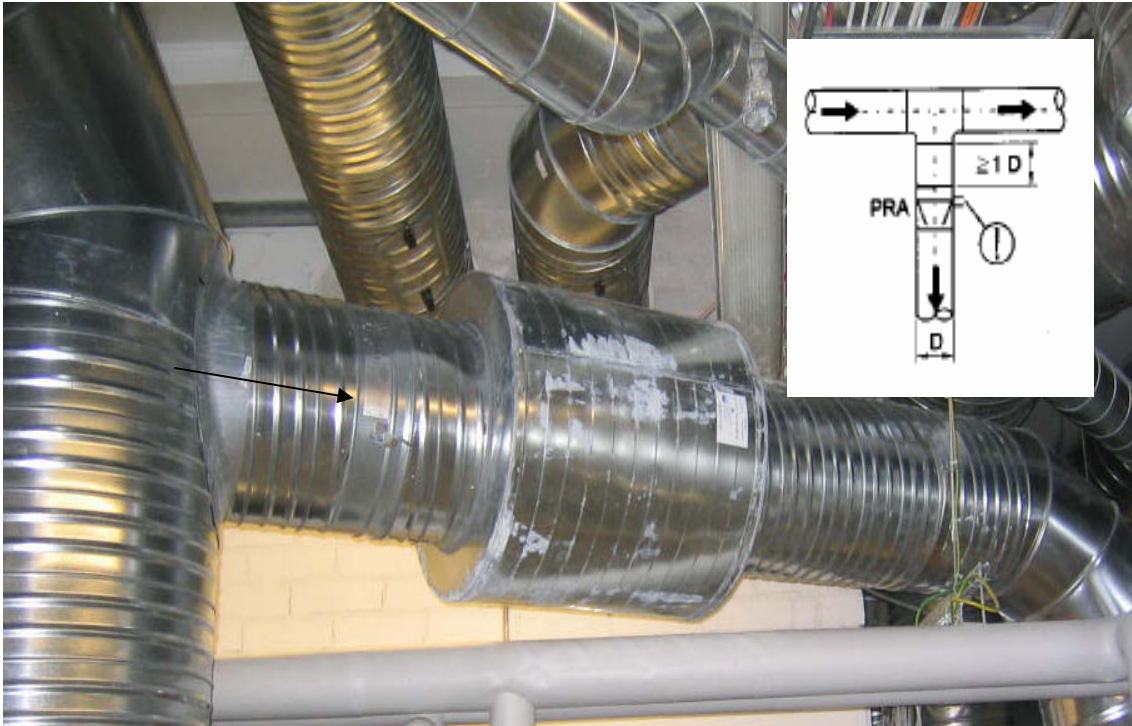
Kuva 2a ja b. Puhallinkohtainen ilmavirran mittausanturointi ja paikallinen osoittava mittari helpottavat käyttöönottoa ja käytön seurantaa.



Kuva 3a ja b. Anturin sijoitus virtaussuunnassa välittömästi poistoilman lämmöntalteenottosiirtimen jälkeen johtaa virheelliseen mittaustulokseen (Kuva a). Jäteilman lämpötila kuvaa lämmöntalteenoton tehokkuutta hyvin. Lämpötila-anturi on pyrittävä sijoittamaan virtaussuunnassa poistoilmapuhaltimen jälkeen. Silloin ilma on sekoittunut ja anturi tuntee keskimääräisen lämpötilan (Kuva b).



Kuva 4. Jäteilman ja sisäilman välinen viivoitettu alue (A–B) on ilmanvaihdon poistoilmasta talteenotettu vuotuinen lämpöenergia. Pinta-ala A–B vastaa lämmöntarvelukua SJ. Ulkoilman ja jäteilman välinen viivoitettu alue (B) on ilmanvaihdon vuotuinen lämmitystarve, kun on LTO. LTO:n huurtumisenesto on toteutettu rajoittamalla jäteilman lämpötila 0 °C:seen. Tuloilman lämpötilaa kuvan tapauksessa ei ole rajoitettu.



Kuva 5. Ilmavirran säätö- ja mittauslaitteen suojaetäisyys häiriöstä (T-haara) on liian lyhyt. Asennusohjeen mukaan vähimmäisetäisyys on yksi halkaisijan mitta ($\geq 1 D$). Lisäksi paine-eron mittausanturien sijainti poikkeaa ohjeen mukaisesta. Mittausvirheen arviointi on vaikeaa. Tilaa olisi ollut suunnitelman mukaiselle paremmalle asennukselle.



Kuva 6. Ilmavirran säätö- ja mittauslaitteen suojaetäisyys häiriöstä (90°-käyrä) on riittävä.

Liite H: ToVa-prosessin kustannukset ja saavutettava hyöty

Toimivuuden varmistamisen merkitystä voidaan havainnollistaa seuraavanlaisella suuntaa antavalla laskentaesimerkillä. Esimerkkikohteena on rakennustilavuudeltaan 20 000 m³:n rakennus, jonka pinta-ala on 4000 m². Oletetaan, että tämän rakennuksen oletettu lämmitysenergiankulutus on 30 kWh/m³,a ja sähkönkulutus 10 kWh/m³,a. Nämä arvot edustavat suhteellisen hyvin toimivan opetusrakennuksen kulutuslukuja.

Kuntaliiton tilaston mukaan kaukolämmön keskihinta on 37,5 €/MWh ja sähkön 76 €/MWh. 20 000 m³:n rakennuksen vuosikulutus lämmön osalta on silloin 600 MWh/a, 22 500 €/a ja sähkön osalta 200 MWh/a, 15 200 €/a. Energiakustannukset ovat yhteensä 37 700 €/a. Mikäli todellinen lämmitys- ja sähköenergian kulutus ylittyykin 5 % suunnitellusta, kustannukset ovat yhteensä 39 585 €/a, erotus 1885 €/a ja viiden vuoden aikana ilman korkoa 9425 €. Vastaavasti mikäli kulutukset ylittyvät 10 %, kustannuserotus vuodessa suunniteltuun verrattuna on 3770 €/a ja viiden vuoden aikana ilman korkoa 18 850 €.

Mikäli rakennuskustannukseksi arvioidaan n. 1500 €/m², on hankkeen kokonaiskustannus luokkaa 6 milj. euroa. Mikäli suunniteltu kulutus ylittyy 5 %, lämmitys- ja sähköenergian aiheuttamat lisäkustannukset ovat viiden vuoden aikana 0,15 % rakennuskustannuksista, ja mikäli kulutus ylittyy 10 %, merkitsee se viiden vuoden aikana n. 0,31 % rakennuskustannuksista. Toisaalta mikäli laadunvarmistukseen ja toimivuuden varmistamiseen investoidaan 0,5 % rakennuskustannuksista, edellä olevassa esimerkissä se merkitsee n. 30 000 euron kustannusta. Tämä kustannus jää yhden vuoden energiakustannusten alapuolelle. Mikäli ToVa-toiminnalla varmistetaan suunnitelmien mukainen energiatehokkuus ja olosuhteet, saavutettava käytönaikainen hyöty on merkittävä rakennuksen elinkaaren aikana. Epättydyttävät olosuhteet voivat nostaa myös suoraan ja välillisesti energiankulutusta.

Vastaava esimerkki voidaan laskea hoitoalan rakennuksen osalta, jonka oletettu lämmitysenergian kulutus on 50 kWh/m³, a ja sähkönkulutus 25 kWh/m³,a. Kolmas esimerkki on liikuntapaikka (esim. pieni uimahalli), jonka oletettu lämmitysenergian kulutus on 70 kWh/m³, a ja sähkönkulutus 40 kWh/m³,a. Vastaavat tulokset esitetään taulukossa 1. Rakennustilavuudeksi ja lattiapinta-alaksi on yksinkertaisuuden vuoksi oletettu sama kuin ensimmäisessä tapauksessa, 20 000 m³ ja 4000 m².

Tarkastellaan säästöpotentiaalia kohteittain: Kohteessa 2 ylimääräiset kustannukset edellä esitetyllä hintatasolla ilman korkoa olivat yhden vuoden ajalta 3775 € ja viiden vuoden ajalta 18 875 €, kun kulutus ylittyy 5 % oletetusta, ja 750 € (1 v) ja 37 750 € (5 v), kun kulutus ylittyy 10 % oletetusta. Vastaavasti kohteessa 3 ylimääräiset kustannukset

ovat 565 € (1 v) ja 28 325 € (5 v), kun ylitys on 5 % suunnitellusta, ja 11 330 € (1 v) sekä 56 650 € (5 v). Luvut riippuvat tietenkin lämmön ja sähkön hintatasosta.

Jos rakennuksen 2 ja 3 rakennuskustannukset ovat kohdetta 1 korkeammat, esimerkiksi 2 000 €/m², on 0,5 % rakennuskustannuksista edellä kuvatulla neliömäärällä 40 000 €, joka on samaa luokkaa kuin rakennusten 2 ja 3 viiden vuoden aikana kertyneet lisäkustannukset verrattuna alkuperäisiin laskelmiin.

Edellä olevat laskelmat perustuvat suhteellisen hyvin toimivien rakennusten toteutuneisiin kulutukseen. Vaikka esimerkki on pelkästään suuntaa antava, voidaan sen perusteella arvioida, mitä luokkaa ToVa-kustannukset voivat olla. Rakennuskustannuksiin verrattuna realistiset toimivuuden varmistuksesta ja laadunvalvonnasta aiheutuvat lisäkustannukset ovat luokkaa < 1 %, ja mikäli tällä tavoin saadaan energiakustannukset ja olosuhteet riittävän hyvin hallintaan, takaisinmaksuaika on luokkaa < 5 v.

Toimivuuden varmistamisella saadaan siten merkittävä hyöty rakennuksen käyttäjälle. Mikäli näin ei toimita, joudutaan pahimmassa tapauksessa käyttäjien valituskierteeseen ja ylimääräisiin korjauksiin, joiden aiheuttamat kustannukset nousevat helposti yli toimivuuden varmistuskustannusten. Toimivuuden varmistuskustannuksia voidaan verrata myös erityyppisen teollisuuden laadunvarmistuskustannuksiin. ToVa-toiminnan kustannukset voitaisiin sitoa toisaalta rakentamiskustannuksiin ja toisaalta edellä esitetyn kaltaiseen laskennalliseen analyysiin, joka tulisi tietenkin olla edellä olevaa esimerkkiä kehittyneempi.

ToVa-prosessin eri vaiheiden ja toimivuuden varmistuspisteiden, salmiakkien, edellyttämien toimenpiteiden hinnoittelu ja siitä saatava hyöty voidaan mallintaa. Lopputulos, tilaajan tavoitteiden mukaisesti toimiva rakennus, tulee voida saavuttaa siten, että varmentamistoimenpiteiden kustannus ei oleellisesti nosta kustannuksia. Toisaalta ToVa-menettelyn tulee nimenomaan varmentaa, että asetetut tavoitteet saavutetaan, jolloin päähuomio täytyy kiinnittää rakentamisprosessin eri vaiheiden ongelmakohtiin ja toimivuutta heikentävien esteiden poistamiseen, jolloin perustana on tarvittaessa toimintatapojen ja -käytäntöjen muutos. Tämä ei välttämättä vaadi investointeja.

Taulukko 1. Energiakustannusten lisäyksen merkitys suunniteltuun verrattuna.

Kohde	Pinta-ala	Tilavuus	Laskettu lämmitysenergian kulutus	Laskettu sähköenergian kulutus	Lämmön hinta	Sähkön hinta	
	m ²	m ³	kWh/m ³	kWh/m ³	€/MWh	€/MWh	
Rakennus 1	4000	20 000	30	10	37,5	76	
Rakennus 2	4000	20 000	50	25	37,5	76	
Rakennus 3	4000	20 000	70	40	37,5	76	
	Lämpö		Sähkö		Yhteensä		
	MWh/a	€/a	MWh/a	€/a	MWh/a	€/a	€/ 5 a
Rakennus 1	600	22 500	200	15 200	800	37700	188500
Rakennus 2	1000	37 500	500	38 000	1500	75500	377500
Rakennus 3	1400	52 500	800	60 800	2200	113300	566500
	Toteutunut lämmitysenergian kulutus, 5 % ylitys	Toteutunut sähköenergian kulutus, 5 % ylitys	Toteutunut lämmitysenergian kulutus, 10 % ylitys		Toteutunut sähköenergian kulutus, 10 % ylitys		
	kWh/m ³	kWh/m ³	kWh/m ³		kWh/m ³		
Rakennus 1	31,5	10,5	33		11		
Rakennus 2	52,5	26,25	55		27,5		
Rakennus 3	73,5	42	77		44		
	Lämpö, 5 % ylitys		Sähkö, 5 % ylitys		Yhteensä		
	MWh/a	€/a	MWh/a	€/a	MWh/a	€/a	€/ 5 a
Rakennus 1	630	23 625	210	15960	840	39585	197925
Rakennus 2	1050	39 375	525	39900	1575	79275	396375
Rakennus 3	1470	55 125	840	63840	2310	118965	594825
	Lämpö, 10 % ylitys		Sähkö, 10 % ylitys		Yhteensä		
	MWh/a	€/a	MWh/a	€/a	MWh/a	€/a	€/ 5 a
Rakennus 1	660	24750	220	16720	880	41470	207350
Rakennus 2	1100	41250	550	41800	1650	83050	415250
Rakennus 3	1540	57750	880	66880	2420	124630	623150
	Erotus laskettuun, 5 % ylitys (€/a)						
	Lämpö		Sähkö		Yhteensä		
	1 v.	5 v.	1 v.	5 v.	1 v.	5 v.	
Rakennus 1	1125	5625	760	3800	1885	9425	
Rakennus 2	1875	9375	1900	9500	3775	18875	
Rakennus 3	2625	13125	3040	15200	5665	28325	
	Erotus laskettuun, 10 % ylitys (€/a)						
	Lämpö		Sähkö		Yhteensä		
	1 v.	5 v.	1 v.	5 v.	1 v.	5 v.	
Rakennus 1	2250	11250	1520	7600	3770	18850	
Rakennus 2	3750	18750	3800	19000	7550	37750	
Rakennus 3	5250	26250	6080	30400	11330	56650	

Liite I: Esimerkki eräistä energiatehokkuustavoitteen saavuttamiseen vaikuttavista tekijöistä

Eräitä energiatehokkuustavoitteen saavuttamiseen vaikuttavia keskeisiä tekijöitä, joihin toimivuuden varmistamistoimenpiteet on kohdistettava, ovat

- ilmanvaihdon ilmavirrat ja käyttöajat
- ilmanvaihdon lämmöntalteenotto
- rakennuksen ilmanpitävyys.

Esimerkkitapauksena on Etelä-Suomeen suunniteltu koulurakennus. Sen rakennustilavuus on 20 000 m³. Energiankulutusarviot on laskettu Suomen rakentamismääräyskokoelman osan D5, Rakennusten lämmityksen tehon- ja energiantarpeen laskenta (RakMK osa D5), pohjalta laaditulla WinEtana-laskentaohjelmalla.

Laskennan tuloksena saatava kaukolämmitysenergian ensimmäinen kulutusarvio on 26,3 kWh/m³ (Kuva 1).

WinEtana 1.1 LT C: \DATA\TUTKIMUS\CX\OHJAUS-1\UUSKOULU.ETA

Tiedosto Muokkaa Energiajakaumat Tariffit Apua

Yhteenveto laskettavan kiinteistön tietoista

Kohteen nimi: Uusi kohde

Sijainti: Helsinki-Vantaa

Rakennustyyppi: Koulu

Rakennusvuosi: 2005

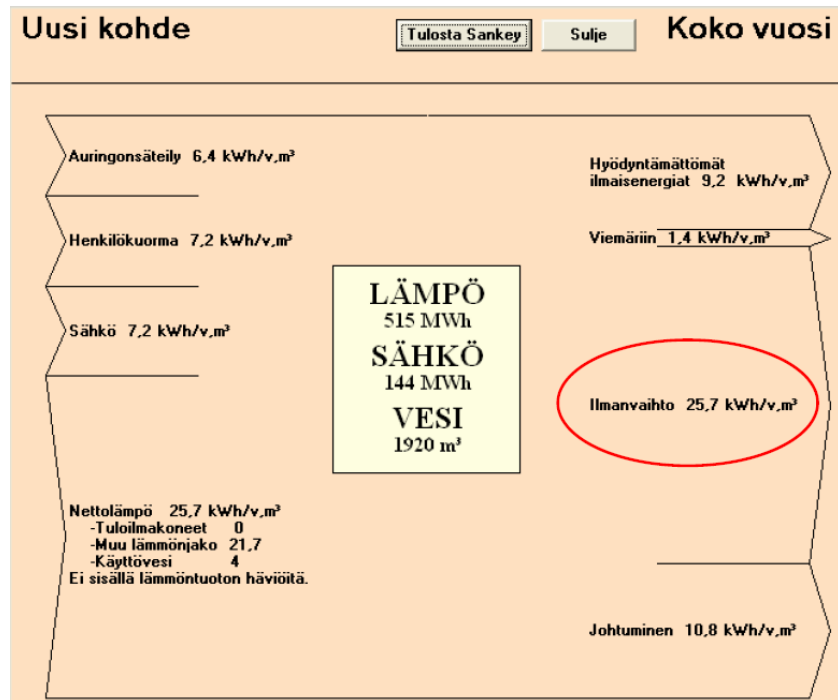
Rakennustilavuus (m³): 20 000

Kustannukset

LÄMPÖ:	Energia	525 890	kWh/a	26,3	kWh/m ³ ,a
	Kaukolämpö Max.teho	750	kW	37,3	W/m ³
SÄHKÖ:	Energia	144 000	kWh/a	7,2	kWh/m ³ ,a
	Max.teho	195	kW	9,8	W/m ³
Vedenkulutus		1 920	m ³ /a	0,10	m ³ /m ³ ,a
	-josta lämmintä	770	m ³ /a	0,04	m ³ /m ³ ,a

Kuva 1. Esimerkkikoulun kaukolämmitysenergian ensimmäinen kulutusarvio on 26,3 kWh/m³.

Ilmanvaihdon lämpöhäviö on ensimmäisen arvion mukaan 25,7 kWh/m³ ja osuudeltaan suurin lämpöhäviökomponentti (Kuva 2).



Kuva 2. Esimerkkikoulun ilmanvaihdon lämpöhäviö on ensimmäisen arvion mukaan 25,7 kWh/m³.

Huolehtimalla ilmavirtojen suunnitelman mukaisesta säädöstä ja käyntiaikojen asettamisesta todellisen tarpeen mukaan voidaan ilmanvaihdon ja näin koko rakennuksen lämpöhäviöihin vaikuttaa merkittävästi. Esimerkissä käyntiaikoja muutetaan 12 tunnista 10 tuntiin vuorokaudessa (Kuva 3).

Ilmanvaihto

IV-koneet 1 kpl Painovoimainen ilmanvaihto (1/h) 0,36

	Ilmavirta (m ³ /s)	LTO (%)	Käyttö	Käyntiaika (h/vrk) (vrk/vko)	Jälkilämmitys	Sisäänpuh.lpt (°C)
1.	14,00	50	Päivällä	12 5	Ei	Sähkö
2.	0,000	50	Päivällä	12 5	Ei	Sähkö
3.	0,000	50	Päivällä	12 5	Ei	Sähkö
4.	0,000	50	Päivällä	12 5	Ei	Sähkö
5.	0,000	50	Päivällä	12 5	Ei	Sähkö
6.	0,000	50	Päivällä	12 5	Ei	Sähkö
7.	0,000	50	Päivällä	12 5	Ei	Sähkö
8.	0,000	50	Päivällä	12 5	Ei	Sähkö
9.	0,000	50	Päivällä	12 5	Ei	Sähkö
10.	0,000	50	Päivällä	12 5	Ei	Sähkö

Vuotoilmanvaihto (1/h) 0,10 OK Peruuta

Kuva 3. Esimerkkikoulun ilmanvaihdon käyntiaika asetetaan laskentaohjelman oletusarvosta poiketen paremmin arvioitua käyttöaikaa vastaavaksi.

Kaukolämmitysenergian kulutus on tämän toisen arvion mukaan $23,1 \text{ kWh/m}^3$ (Kuva 4).

WinEtana 1.1 LT C:\DATA\TUTKIMUS\CX\YOHJAUS-1\UUSIK1.ETA

Tiedosto Muokkaa Energijakaumat Tariffit Apua

Yhteenveto laskettavan kiinteistön tiedoista

Kohteen nimi: Uusi kohde

Sijainti: Helsinki-Vantaa

Rakennustyyppi: Koulu

Rakennusvuosi: 2005

Rakennustilavuus (m³): 20 000

Kulutukset | Kustannukset

LÄMPÖ:		Energia	462 820	kWh/a	23,1	kWh/m ³ ,a
Kaukolämpö		Max.teho	750	kW	37,3	W/m ³
SÄHKÖ:		Energia	144 000	kWh/a	7,2	kWh/m ³ ,a
		Max.teho	195	kW	9,8	W/m ³
Vedenkulutus			1 920	m ³ /a	0,10	m ³ /m ³ ,a
-josta lämmintä			770	m ³ /a	0,04	m ³ /m ³ ,a

Kuva 4. Esimerkkikoulun kaukolämmitysenergian kulutus on toisen arvion mukaan $23,1 \text{ kWh/m}^3$.

Ilmanvaihdon lämmöntalteenoton parantamisella voidaan ilmanvaihdon lämpöhäviöihin vaikuttaa edelleen pienentävästi. Esimerkissä lämmöntalteenoton hyötysuhdetta muutetaan 50 %:sta 60 %:iin (Kuva 5).

Ilmanvaihto

IV-koneet 1 kpl Painovoimainen ilmanvaihto (1/h) 0,36

Ilmavirta (m ³ /s)	LTO (%)	Käyttö	Käyntiaika (h/vrk)	Käyntiaika (vrk/vko)	Jälkilämmitys	Sisäänpuh.lpt (°C)
14,00	50	Päivällä	10	5	Ei	Sähkö
0,000	50	Päivällä	12	5	Ei	Sähkö
0,000	50	Päivällä	12	5	Ei	Sähkö
0,000	50	Päivällä	12	5	Ei	Sähkö
0,000	50	Päivällä	12	5	Ei	Sähkö
0,000	50	Päivällä	12	5	Ei	Sähkö
0,000	50	Päivällä	12	5	Ei	Sähkö
0,000	50	Päivällä	12	5	Ei	Sähkö
0,000	50	Päivällä	12	5	Ei	Sähkö
0,000	50	Päivällä	12	5	Ei	Sähkö

Vuotoilmanvaihto (1/h) 0,10

OK Peruuta

Kuva 5. Esimerkkikoulun ilmanvaihdon lämmöntalteenoton hyötysuhde asetetaan las-kentaohjelman oletusarvosta poiketen 50 %:sta 60 %:iin.

Kaukolämmitysenergian kulutus on tämän kolmannen vaiheen arvion mukaan 20,1 kWh/m³ (Kuva 6).

Yhteenveto laskettavan kiinteistön tiedoista

Kohteen nimi: Uusi kohde

Sijainti: Helsinki-Vantaa

Rakennustyyppi: Koulu

Rakennusvuosi: 2005

Rakennustilavuus (m³): 20 000

Kulutukset | Kustannukset

LÄMPÖ:	Energia	403 000	kWh/a	20,1	kWh/m ³ ,a
	Kaukolämpö	Max.teho	670	kW	33,4
SÄHKÖ:	Energia	144 000	kWh/a	7,2	kWh/m ³ ,a
	Max.teho	195	kW	9,8	W/m ³
Vedenkulutus		1 920	m ³ /a	0,10	m ³ /m ³ ,a
	-josta lämmintä	770	m ³ /a	0,04	m ³ /m ³ ,a

Kuva 6. Esimerkkikoulun kaukolämmitysenergian kulutus on kolmannen vaiheen arvion mukaan 20,1 kWh/m³.

Rakennuksen ilmanpitävyyttä parantamalla voidaan yleensä parantaa sekä sisäilmastoa että energiatehokkuutta. Esimerkkikoulun rakenneyksityiskohtien huolellisella suunnittelulla ja toteutuksella tavoitellaan ilmanvuotokertoimen (kuvassa vuotoilmanvaihto, 1/h) pienentämistä arvosta 0,10 1/h arvoon 0,05 1/h (Kuva 7).

Ilmanvaihto

IV-koneet 1 kpl Painovoimainen ilmanvaihto (1/h) 0,36

	Ilmavirta (m ³ /s)	LTO (%)	Käyttö	Käyntiaika (h/vrk)		Jälkilämmitys	Sisäänpuh.lpt (°C)
1.	14,00	60	Päivällä	10	5	Ei	Sähkö
2.	0,000	50	Päivällä	12	5	Ei	Sähkö
3.	0,000	50	Päivällä	12	5	Ei	Sähkö
4.	0,000	50	Päivällä	12	5	Ei	Sähkö
5.	0,000	50	Päivällä	12	5	Ei	Sähkö
6.	0,000	50	Päivällä	12	5	Ei	Sähkö
7.	0,000	50	Päivällä	12	5	Ei	Sähkö
8.	0,000	50	Päivällä	12	5	Ei	Sähkö
9.	0,000	50	Päivällä	12	5	Ei	Sähkö
10.	0,000	50	Päivällä	12	5	Ei	Sähkö

Vuotoilmanvaihto (1/h) 0,10

OK Peruuta

0,05

Kuva 7. Esimerkkikoulun ilmanvuotokerroin (kuvassa vuotoilmanvaihto, 1/h) asetetaan laskentaohjelman oletusarvosta poiketen arvosta 0,10 1/h arvoon 0,05 1/h.

Kaukolämmitysenergian kulutus on tämän neljännen vaiheen arvion mukaan $18,1 \text{ kWh/m}^3$ (Kuva 8).

Yhteenveto laskettavan kiinteistön tiedoista

Kohteen nimi:

Sijainti:

Rakennustyyppi:

Rakennusvuosi:

Rakennustilavuus (m³):

Kulutukset | **Kustannukset**

LÄMPÖ:	Energia	<input type="text" value="362 700"/>	<input type="text" value="kWh/a"/>	<input type="text" value="18,1"/>	<input type="text" value="kWh/m<sup>3</sup>,a"/>
	<input type="text" value="Kaukolämpö"/> Max.teho	<input type="text" value="650"/>	<input type="text" value="kW"/>	<input type="text" value="32,6"/>	<input type="text" value="W/m<sup>3</sup>"/>
SÄHKÖ:	Energia	<input type="text" value="144 000"/>	<input type="text" value="kWh/a"/>	<input type="text" value="7,2"/>	<input type="text" value="kWh/m<sup>3</sup>,a"/>
	Max.teho	<input type="text" value="195"/>	<input type="text" value="kW"/>	<input type="text" value="9,8"/>	<input type="text" value="W/m<sup>3</sup>"/>
Vedenkulutus		<input type="text" value="1 920"/>	<input type="text" value="m<sup>3</sup>/a"/>	<input type="text" value="0,10"/>	<input type="text" value="m<sup>3</sup>/m<sup>3</sup>,a"/>
	-josta lämmintä	<input type="text" value="770"/>	<input type="text" value="m<sup>3</sup>/a"/>	<input type="text" value="0,04"/>	<input type="text" value="m<sup>3</sup>/m<sup>3</sup>,a"/>

Kuva 8. Esimerkkikoulun kaukolämmitysenergian kulutus on neljännen vaiheen arvion mukaan $18,1 \text{ kWh/m}^3$.

Esimerkkikoulun kaukolämmitysenergian ensimmäinen kulutusarvio $26,3 \text{ kWh/m}^3$ saatiin yksinkertaisin tarkennuksin pienentymään yli 30 % arvoon $18,1 \text{ kWh/m}^3$. Tavoitteen toteutuminen edellyttää huolellista toteutusta, oletusten mukaista käyttöä ja asian-
tuntevaa ToVa-toimintaa rakennuksen suunnitellun käyttöiän ajan.

Liite J: Rahoittajien yhteystiedot

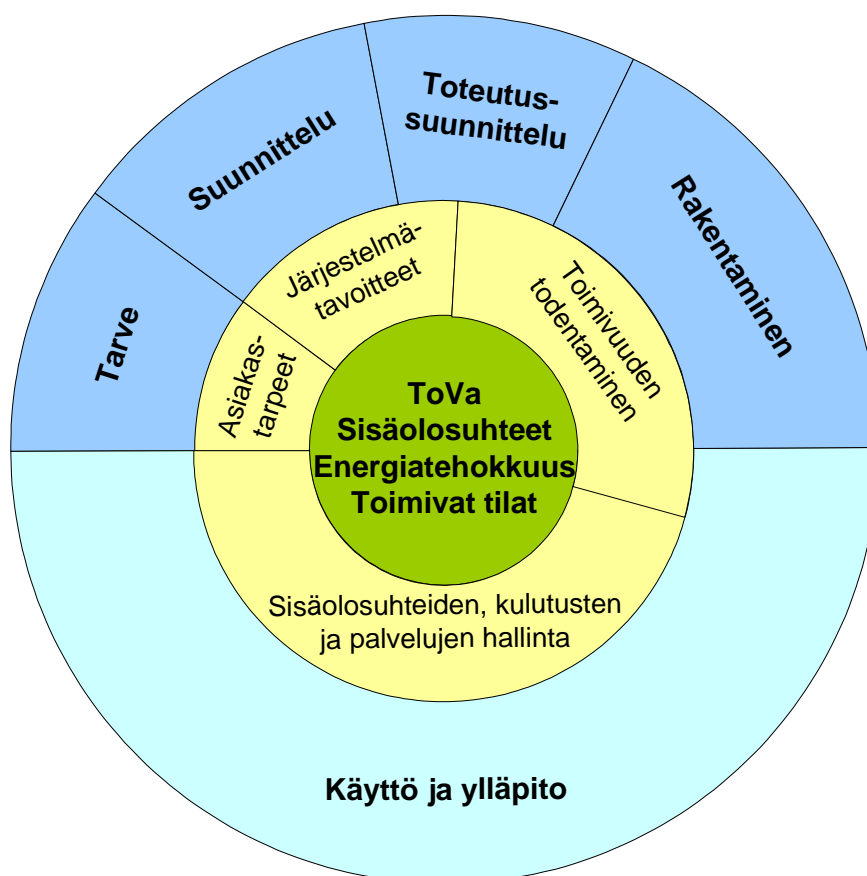
Yritys		Kotisivu	Yhteyshenkilö
	Are Oy	http://www.are.fi/	Esa Klemetti
	Airix	http://www.airix.fi/	Juhani Säynäväjärvi
	Comsel System	http://www.comsel.fi/	Lars Hamberg
	E.ON Finland Oyj	http://www.eon.fi/	Janne Huotari
	FläktWoods	http://www.flaktwoods.com/	Juhani Hyvärinen
	JP-Talotekniikka	http://www.jp-talotekniikka.fi	Timo Huvinen Ilkka Salo
	Helsingin asuntotuotantotoimisto	http://www.att.hel.fi/	Jarmo Mylläri
	Helsingin kaupungin rakennusvirasto	http://www.hkr.hel.fi/	Mårten Lindholm, Jukka Forsman
	Lonix	http://www.lonix.fi/	Tuomas Koskenranta
	MX Electrix Oy	http://www.electrix.fi/	Seppo Vehviläinen

	Motiva	http://www.motiva.fi/	Heikki Härkönen
	Optiplan	http://www.optiplan.fi/	Veijo Matilainen
	Porin kaupunki	http://www.pori.fi/	Pasi Salo
	Puolustus- hallinnon Rakennuslaitos	http://www.phrakl.fi/	Timo Sarpila
	Senaatti- kiinteistöt	http://www.senaatti.fi/	Juha Muttilainen
	Skanska	http://www.skanska.fi/	Esko Mannermaa, Juha Tammivuori
	VVO	http://www.vvo.fi/	Tapio Matila
	TAKE/CUBE	http://www.take.fi/	Markku J. Virtanen
	Tekes	http://www.tekes.fi/	Jarmo J. Heinonen
	YIT	http://www.yit.fi/	Kalevi Hyvärinen

Tekijä(t) Pietiläinen, Jorma, Kauppinen, Timo, Kovanen, Keijo, Nykänen, Veijo, Nyman, Mikko, Paiho, Satu, Peltonen, Janne, Pihala, Hannu, Kalema, Timo & Keränen, Hannu		
Nimeke ToVa-käsikirja Rakennuksen toimivuuden varmistaminen energiatehokkuuden ja sisäilmaston kannalta		
Tiivistelmä Lukuisat kotimaiset ja kansainväliset esimerkit ovat osoittaneet, että rakennusten toimivuudessa on usein puutteita eivätkä sisäilmasto ja energiatehokkuus ole tavoitteiden mukaisia. Aivan uusissakin rakennuksissa esiintyy merkittäviä virheitä, joista taloudellisten menetysten lisäksi voi aiheutua myös terveyshaittoja ja turvallisuusriskejä. Tilanteen parantamiseksi on erityisesti USA:ssa kehitetty ns. Building Commissioning -menettelyjä, joilla varmistetaan täsmällinen tilaajan tavoitteiden dokumentointi, suunnittelutavoitteiden määrittely ja se, että valmistunut rakennus toimii suunnitelmien ja niissä asetettujen tavoitteiden mukaisesti. Vastaavan kotimaisen toiminnan aikaansaamiseksi toteutettiin Tekesin Cube-ohjelmassa hanke ”Olosuhteiden ja energiatehokkuuden commissioning-palvelut kiinteistöissä (Cx-palvelut)”, jonka tuloksena syntyi tämä käsikirja. Käsikirjassa esitetään suomalainen vastine commissioning-toiminnalle, jota on päätetty kutsua toimivuuden varmistamiseksi (ToVa-toiminnaksi). Toimivuuden varmistaminen on suunnittelutavoitteiden asettamisesta alkaen koko rakennuksen elinkaaren kattavaa systemaattista toimintaa, jolla varmistetaan se, että rakennukselle ja sen järjestelmille asetettavat tavoitteet on määritelty selkeästi ja niiden toteutumista ohjataan säännöllisesti rakennushankkeen eri vaiheissa. Käsikirja keskittyy erityisesti sisäilmaston ja energiatehokkuuden varmistamiseen. Siinä kuvataan ToVa-toiminnan organisointi ja tehtävät hankkeen elinkaaren aikana sekä annetaan yleisiä ohjeita ja yksityiskohtaisempia tarkistuslistoja varmistustoiminnan käytännön suorittamiseksi. Omana lukunaan käsitellään toimivuuden varmistamisessa käytettäviä menetelmiä. ToVa-toimintaa palvelevista mittausmenetelmistä on laadittu lisäksi erillinen raportti, jota voidaan käyttää yhdessä käsikirjan kanssa. Hyvä sisäilmasto ja energiatehokkuus tuotetaan ja niitä hallitaan samoilla järjestelmillä. Keskeisenä tavoitteena toimivuuden varmistamisessa on saada rakennuksen vaippa ja talotekniset järjestelmät toimimaan hyvin yhteen ottaen huomioon kiinteistön erilaiset käyttö- ja kuormitustilanteet. Tämä edellyttää hyvää tiedonvaihtoa, yhteistyötä ja koordinoitua suunnittelun ja toteutuksen eri osapuolten kesken sekä osaavaa ja tehtäviinsä ajoissa perehdytettyä ylläpitohenkilöstöä. Hyvä sisäilmasto palvelee käyttäjien toimintaa kiinteistössä. Hyvin suunnitelluilla, säädetyillä ja ylläpidetyillä järjestelmillä sisäolosuhteet voidaan tuottaa myös energiatehokkaasti. Yksi ToVa-toiminnan keskeinen vaatimus on, että suunnittelutavoitteet kohdistetaan rakennuksen toiminnallisuuteen (esim. sisäilmasto yksilöitynä hyväksyttäviin lämpötiloihin ja hiilidioksidipitoisuuksiin ja energiatehokkuus yksilöitynä lämmön ja sähkön kulutuksiin ja käyttökustannuksiin). Toinen keskeinen vaatimus on, että asetetut tavoitteet täytyy pystyä todentamaan mittauksin. Jo suunnitteluvaiheessa on siis varmistuttava tästä. Ei kuitenkaan riitä, että sisäilmastoa ja energiatehokkuutta seurataan. Kolmas vaatimus on, että jos poikkeamia tavoitearvoista havaitaan mittauksissa, poikkeamien syyt selvitetään ja mahdolliset viat korjataan. Joskus tilanne voi olla sellainen, ettei asetettuja tavoitteita pystytä saavuttamaan toteutetuilla ratkaisuilla. Tällöin on korjattava alkupe räisiä tavoitteita.		
ISBN 978-951-38-6969-4 (nid.) 978-951-38-6970-0 (URL: http://www.vtt.fi/publications/index.jsp)		
Avainnimeke ja ISSN VTT Tiedotteita – Research Notes 1235-0605 (nid.) 1455-0865 (URL: http://www.vtt.fi/publications/index.jsp)		Projekтинumero
Julkaisuaika Joulukuu 2007	Kieli Suomi, engl. tiiv.	Sivuja 173 s. + liitt. 56 s.
Projektin nimi ToVa		Toimeksiantaja(t) VTT, yritykset
Avainsanat buildings, energy efficiency, indoor air, commissioning, risk analysis, simulation, operability, measurements, validation, automation		Julkaisija VTT PL 1000, 02044 VTT Puh. 020 722 4520 Faksi 020 722 4374

Author(s) Pietiläinen, Jorma, Kauppinen, Timo, Kovanen, Keijo, Nykänen, Veijo, Nyman, Mikko, Paiho, Satu, Peltonen, Janne, Pihala, Hannu, Kalema, Timo & Keränen, Hannu		
Title Guidebook for life-cycle commissioning of buildings energy efficiency and indoor climate		
Abstract <p>Numerous studies and everyday experiences prove the fact that even new buildings do not perform as expected. Dissatisfaction with the indoor air quality and with thermal comfort is common and the energy efficiency is not in the targeted level regardless of the new technology utilised and advanced systems installed. To avoid these kinds of situations quality assurance procedures known as Building Commissioning have been developed and taken into the use especially in USA. In order to start similar activities in Finland a R&D project was carried out in 2004–2006 as part of the Finnish Building Services Technology Programme (CUBE). With this project Finland participated also in the international development of commissioning procedure carried out in the IEA ECBCS Annexes 40 and 47. In the collaborative project including VTT, Tampere University of Technology and many public and private actors from construction sector (listed in appendix J) this general guidebook for commissioning was developed and Finnish term “Toimivuuden Varmistaminen” (ToVa) for commissioning (Cx) was launched.</p> <p>In the guidebook general procedure for ToVa activities is described covering the whole life cycle of the building. ToVa means clear definition, capturing and documentation of end user requirements and their compliance assessment and verification in all the phases from design through realisation to the operation and use. In the guidebook special focus has been put on the indoor air quality and energy efficiency. Guidebook includes general instructions for the assessment and verification of IAQ and energy efficiency but gives also checklists to be used in different phases of building process. Organisation and responsibilities of ToVa-activities as well as methods to be used in different phases have been discussed in guidebook. In a separate report useful measurements for ToVa have been described and instructions for practical work are given. For the deployment and further development of ToVa-activities an internet domain (www.tova.fi) have been set up, where also this guidebook can be downloaded.</p> <p>Good indoor environment and energy efficiency are produced and managed by the same systems of building. Strategic objective of ToVa is to integrate the building envelope with the other technical systems, especially building services and simultaneously take into account the changing outdoor circumstances and user needs. Prerequisite for the success is active interchange of information and open collaboration among the actors of design and construction process. It is also essential to involve the operation and maintenance personnel in early phase to the process, and in this way assure their capability to take care of the building when handed over. Finally the end users must be introduced to the proper use as well and flexible feedback channel to inform about failures etc. should be available.</p>		
ISBN 978-951-38-6969-4 (soft back ed.) 978-951-38-6970-0 (URL: http://www.vtt.fi/publications/index.jsp)		
Series title and ISSN VTT Tiedotteita – Research Notes 1235-0605 (soft back edition) 1455-0865 (URL: http://www.vtt.fi/publications/index.jsp)		Project number
Date December 2007	Language Finnish, Engl. abstr.	Pages 173 p. + app. 56 p.
Name of project ToVa		Commissioned by VTT, companies
Keywords buildings, energy efficiency, indoor air, commissioning, risk analysis, simulation, operability, measurements, validation, automation		Publisher VTT Technical Research Centre of Finland P.O. Box 1000, FI-02044 VTT, Finland Phone internat. +358 20 722 4520 Fax +358 20 722 4374

Rakennusten sisäilmastossa ja energiatehokkuudessa ilmenee yleisesti puutteita, jotka aiheuttavat valituksia käyttäjien taholta ja synnyttävät turhia korjaustarpeita jopa aivan uusissakin kohteissa. Syynä ovat usein puutteellinen suunnittelu tai rakentamisen ja ylläpidon yhteydessä tehdyt muutokset, joiden vaikutuksia kokonaisuuteen ei ole riittävästi tutkittu. ToVa-käsikirjassa on hahmoteltu prosessi ja annettu ohjeet, joilla voidaan varmistaa että rakennus toimii käyttäjän ja tilaajan tarpeiden mukaan sekä tyydyttää energiatehokkuuden yhä tiukkenevat vaatimukset. Käsikirjaan liittyy myös erillinen ToVa-mittauksia käsittelevä raportti.



Julkaisu on saatavana

VTT
PL 1000
02044 VTT
Puh. 020 722 4520
<http://www.vtt.fi>

Publikationen distribueras av

VTT
PB 1000
02044 VTT
Tel. 020 722 4520
<http://www.vtt.fi>

This publication is available from

VTT
P.O. Box 1000
FI-02044 VTT, Finland
Phone internat. + 358 20 722 4520
<http://www.vtt.fi>