

# TALOTEKNIikka 2030- Toiminnan varmistaminen

Kirjoittajat:

Aalto-yliopiston tutkijat Simo Kilpeläinen, Johannes Simola, Panu Mustakallio ja Risto Kosonen



# Alkusanat

Tämän projektin toteutuksesta on vastannut Aalto- yliopiston tutkijaryhmä: Simo Kilpeläinen, Johannes Simola, Panu Mustakallio ja Risto Kosonen.

Projektin ohjausryhmään ovat osallistuneet aktiivisesti seuraavat henkilöt:

Antti Alanko	Are
Tuomas Hokkanen	Are
Markku Ylinen	Are
Marko Holopainen	Bravida
Ville Tamminen	Caverion
Jukka Karhu	Granlund
Harri Nyysölä	Granlund
Toni Koskimäki	Granlund
Kim Hagström	Halton
Tryggve Leander	KV Lindholm
Janne Korhonen	Mikenti/QMG
Ilkka Kiiski	Sweco
Jouni Ylhäinen	Sweco

Lisäksi koekohteiden hankintaan ovat osallistuneet:

Jyrki Lönnström	Fläktwoods
Sakari Hägg	Halton
Marianna Tuomainen	Helsingin kaupunki
Hannu Lindroos	Swegon
Jouni Pesonen	YIT

Lisäksi erityiskiitos Harri Nyysölälle Granlund:lta useista palavereista ja kommentoinnista koekohteiden tarkistuslistaan.

Kiitos kaikille hankkeeseen osallistuneille.

Espoossa 22.9.2023

Tekijät

Raportin kansikuva: Aalto-yliopisto/ Nita Vera

# Sisällysluettelo

Alkusanat.....	1
1. Johdanto.....	4
2. Toiminnanvarmistamiseen ohjeet.....	5
2.1 Kansainväliset ohjeet.....	5
2.2 Suomessa tehdyt ohjeet.....	7
3. Case-tutkimus hybridilämmitysjärjestelmien toiminnanvarmistuksesta	8
3.1 Metodiikka.....	8
3.1.1 Haastattelut ja tarkistettavat asiat.....	9
3.1.2 Koekohteiden tekninen kuvaus.....	10
3.1.3 Koekohteiden toteutusmuoto.....	12
3.2 Tulokset.....	14
3.3 Toimivat ja kehitettävät prosessivaiheet.....	18
4. Case- tutkimus IMS- järjestelmien toiminnanvarmistuksesta.....	21
4.1 Metodiikka.....	21
4.1.1 Kirjallisuusselvitys tarpeenmukaisten ilmanvaihtojärjestelmien toiminnan puutteista ja tarvittavista parannuksista.....	21
4.1.2 Haastattelut ja tarkistettavat asiat.....	23
4.1.3 Koekohteiden kuvaus.....	24
4.2 Tulokset.....	25
4.2.1 Eri koekohteiden toteutusmuoto.....	25
4.2.2 Toiminnanvarmistusprosessin onnistuminen.....	26
4.3 Toimivat ja kehitettävät prosessivaiheet.....	28
5. Toiminnanvarmistusprosessin kehitysehdotukset.....	31
6. Johtopäätökset.....	33
Lähdeluettelo.....	35
Liite 1. Hybridikohteiden haastattelukysymykset.....	36
Liite 2. IMS-kohteiden haastattelukysymykset.....	41

# 1. Johdanto

Rakennukset aiheuttavat 40 prosenttia Euroopan unionin energian loppukulutuksesta ja 36 prosenttia sen energiaan liittyvistä kasvihuonekaasupäästöistä. Energiankulutuksen vähentäminen energiatehokkuus etusijalle -periaatteen mukaisesti on keskeinen komission suositus (EU) 2021/1749 (European Commission, 2021). Pienemmällä energiankulutuksella sekä uusiutuvista lähteistä peräisin olevan energian ja etenkin lämpöpumppujen käytöllä on merkittävä rooli unionin energiariippuvuuden vähentämisessä fossiilisista polttoaineista. Energiakulutuksen lisäksi on viime aikoina komission toimesta kiinnitetty entistä enemmän huomiota hyvän sisäilmaston hallintaan, kun rakennusten energiatehokkuus- direktiiviä ollaan päivittämässä. Ilmanvaihdon merkitystä korostaa se, että ilmanvaihdon osuus palvelurakennuksien energiankulutuksesta on noin 30-40 %. Tästä energiankulutusta voidaan vähentää jopa 50 %, kun ilmanvaihtoa ohjataan tarpeenmukaisesti siten, että taataan samalla hyvät sisäolosuhteet.

Monimutkaiset talotekniikkajärjestelmät edellyttävät erityisosaamista suunnittelussa, urakoinnissa ja edelleen käyttövaiheessa. Monimutkaisten järjestelmien optimaalinen toiminta vaatii lisäksi eri osajärjestelmien yhteistoiminnan varmistamisen. Tällä hetkellä on puutteita koulutuksessa sekä sen lisäksi puuttuu ohjeistusta monimutkaisempien järjestelmien suunnittelusta ja ennen kaikkea jatkuva-aikaisesta toiminnan varmistamisesta, jotka vaikeuttavat hyvin toimivien järjestelmien aikaansaamista.

Useissa yhteyksissä on todettu, että tarpeenmukaiset ilmanvaihtojärjestelmät eivät toimi useinkaan optimaalisella tavalla. Tällöin potentiaalinen energiansäästö jää saavuttamatta ja myös mahdollisesti sisäilmasto-olosuhteet eivät ole suunnitelmien mukaiset. Vastaavasti on esitetty, että monimutkaiset hybrid- järjestelmät eivät toimi suunnitellulla tavalla ja asettuja energiansäästötavoitteita ei saavuteta.

Ratkaisumallina edellä mainittujen ongelmien hallintaa on toiminnanvarmistaminen. Yleisesti toiminnan varmistaminen ymmärretään koskevan pelkästään vastaanottovaihetta. Suunnittelussa ja urakoinnissa tehtyjä virheitä ei voida kuitenkaan enää juuri korjata vastaanottovaiheessa. Näin ollen järjestelmien toiminnanvarmistaminen tulisikin alkaa jo suunnitteluvaiheesta ja kattaa myös käyttövaiheen, jossa jatkuva-aikaisesti varmistetaan kokonaisjärjestelmän toiminta siihen erityisesti asetettujen mitareiden avulla.

Tämän tutkimuksen hypoteesi oli se, että toiminnanvarmistamisprosessin puutteet ovat keskeinen syy järjestelmien toimintaongelmiin. Hankkeen tavoitteena oli saada parempi kuva ongelmien syistä ja laajuudesta analysoimalla toteutusprosessin merkitystä järjestelmien toimintaan. Hankkeessa tehtiin kirjallisuustutkimus, jossa kartoitettiin kansainvälisiä käytäntöjä ja kokemuksia. Projektissa tehtiin myös avainhenkilöiden haastatteluihin perustuva tapaustutkimukset erikseen hybrid-järjestelmiin ja tarpeenmukaisiin ilmanvaihtojärjestelmiin liittyen, joissa analysoitiin toteutus- ja ylläpitoprosessin toteutusta ja sen ongelmakohtia. Tutkimuksessa analysoitiin, miten hankkeen prosessivaiheissa olevat puutteet vaikuttavat järjestelmän toimintaongelmiin sekä kartoitettiin sitä, mitkä prosessin vaiheet toimivat ja mitä prosessin vaiheita tulisi erityisesti parantaa.

## 2. Toiminnanvarmistamiseen ohjeet

Talotekniikkajärjestelmät ovat kehittyneet viime vuosikymmeninä ja järjestelmistä on tullut teknisesti monimutkaisempia. Talotekniikkajärjestelmien suunnitellun toiminnan takaamiseksi on kehitetty toiminnanvarmistusprosesseja. Prosesseilla varmistetaan se, että järjestelmät toimivat suunnitellusti ja niillä voidaan saavuttaa asetetut sisäilmasto- ja energiatavoitteet.

Useissa tutkimuksessa on todettu, että talotekniikkajärjestelmien toiminnanvarmistus on yksi tehokkaimmista tavoista minimoida energiahukkaa ja taata järjestelmien haluttu toiminta. Prosessi kattaa silloin kaikki eri hankkeen vaiheet hankesuunnittelusta käyttövaiheeseen. On esitetty, että systemaattisten tarkastuksien avulla rakennuksen energiankulutusta voidaan pienentää jopa 15-40 % sekä useimmat järjestelmien ongelmat ja puutteet löydetään riittävän aikaisin eri prosessivaiheiden aikana tehtävissä tarkastuksissa (Pietiläinen et al., 2007).

Tutkimuksissa osoitetuista hyödyistä huolimatta toiminnanvarmistus ei ole yleinen käytäntö Suomessa. Syitä prosessin hitaaseen käyttöönottoon on selvitetty haastattelulla ja suurimpana syynä hitaaseen käyttöönottoon pidettiin ohjeistuksen ja standardien puuttumista sekä eri osapuolten tietämättömyyttä toiminnanvarmistusprosessista (Ani, 2019).

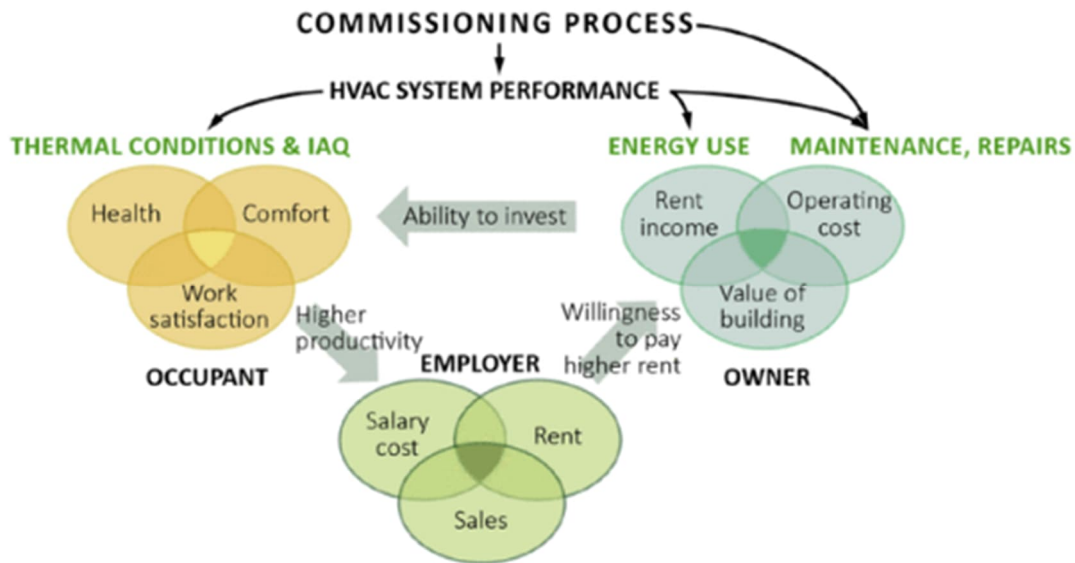
### 2.1 Kansainväliset ohjeet

Yksityiskohtaiset toiminnanvarmistamisen prosessien kuvaukset ovat esittä eurooppalainen LVI-yhdistysten liitto REHVA ja amerikkalainen ASHRAE- järjestö.

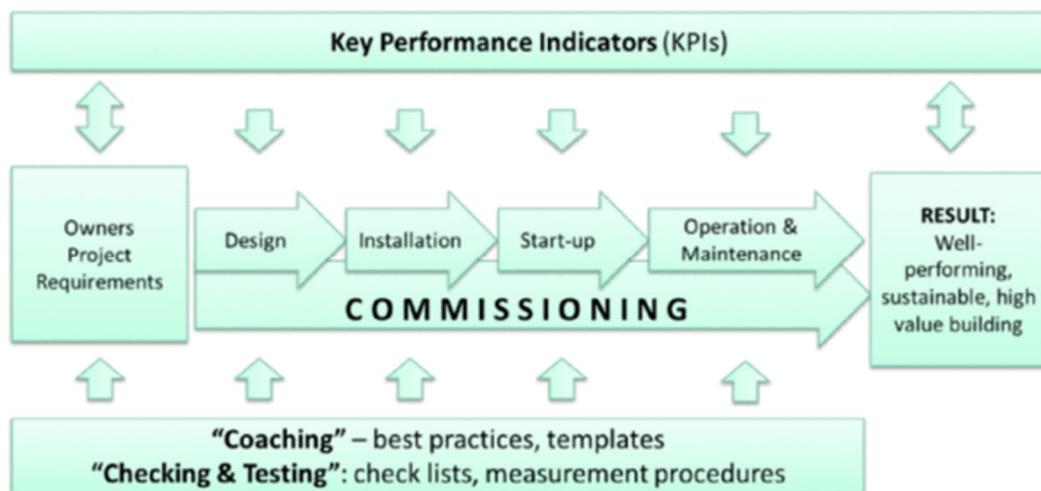
#### REHVA

REHVA tuo ohjeissa (REHVA, 2019) laaja-alaisesti toiminnanvarmistuksen hyödyt (kuva 2.1). Voidaan todeta, että kaikki osapuolet hyötyvät hyvin toimivista talotekniikkajärjestelmistä. Tällöin sisäilmaolot ovat terveelliset ja tilassa oleskelevat olonsa viihtyisäksi. Kun LVI-järjestelmät toimivat oikein, kiinteistön omistaja hyötyy korkeammista vuokratuloista, pienemmistä energiankulutuslaskuista ja rakennuksen käyttökustannuksista. Kun työntekijät ja asukkaat tuntevat olonsa terveemmäksi, he voivat työskennellä tuottavammin. Näin toimivasta rakennuksesta voidaan periä myös korkeampi vuokra, josta hyötyy kiinteistöjen omistaja. Kiinteistön arvo nousee myös, kun se on energiatehokas ja terveellinen.

REHVA painottaa omassa ohjeessa sitä, että toiminnanvarmistusprosessi kattaa koko elinkaaren. Kuvassa 2.2 esitetään prosessi, joka kattaa hankkeen esisuunnittelusta käyttövaiheeseen. Tässä on lähtökohtana se, että kaikki rakennuksen LVI-järjestelmät ja komponentit suunnitellaan, asennetaan, testataan, huolletaan ja käytetään asiakkaan asettamien vaatimusten ja tavoitteiden mukaisesti.



Kuva 2.1 Toiminnanvarmistusprosessin hyödyt.



Kuva 2.2 REHVA toiminnanvarmistusprosessi.

Toiminnanvarmistusprosessin tehtävät on jaettu rakennusprojektissa kolmeen vaiheeseen: toimet ennen rakentamista, työt rakentamisen aikana ja tehtävät rakentamisen jälkeen käyttövaiheen aikana.

Tehtävät ennen rakentamista

- Esisuunnittelu
  - ✓ Tavoiteasetus ja omistajan projektivaatimukset
  - ✓ Rakennuksen yleissuunnittelu ja järjestelmien valinta
- Suunnittelu
  - ✓ Suunnittelun lähtökohdat
  - ✓ Yksityiskohtainen komponenttien ja osajärjestelmien suorituskyky
  - ✓ Käyttöönoton suunnittelu

- ✓ Toimintojen järjestys
- Tarjouskilpailu
  - ✓ Käyttöönottovaatimukset on liitetty käyttöönottoasiakirjoihin.
  - ✓ Oikeat komponentit ostetaan

#### Rakentamisen aikaiset tehtävät

- Asennus
  - ✓ Oikeat komponentit on vastaanotettu
  - ✓ Kaikki komponentit on asennettu oikein
- Toimintakokeet osajärjestelmille
  - ✓ komponenttien/osajärjestelmien tarkastukset
  - ✓ asetusrvot kullekin järjestelmälle
  - ✓ mittaukset suunnitteluolosuhteissa
- Koko järjestelmän testaus
  - ✓ Koko järjestelmän toiminta automatisoidussa tilassa
  - ✓ toimintaparametrit mitataan ja verrataan rakennuksen valvontajärjestelmän lukemiin

#### Käyttövaiheen aikaiset tehtävät

- Vuodenajat
  - ✓ Oikeiden toimintaparametrien löytäminen jokaiselle järjestelmälle jokaisena vuodenaikana ja toimintatapana
- Jatkuva-aikainen tarkastus
  - ✓ Tiedon kerääminen suoritusindikaattoreista (sisäympäristön laatu, käyttäjätyytyväisyys, energian ja veden käyttö) ja vertaaminen tavoitearvoihin
- Toiminnan suunnittelu
  - ✓ Vuotuinen toimintakatsaus kaikille keskeisille suoritusindikaattoreille ja suoritustilauksille (automaattinen tai manuaalinen)
  - ✓ Käynti rakennuksessa
  - ✓ Huollon, korjausten, jälkiasennusten ja kunnostustöiden suunnittelu

#### ASHRAE

ASHRAE on laatinut kattavat ohjeet ASHRAE Standard 202-2018 (ASHRAE, 2018) ja ASHRAE Guideline 0-2019 (ASHRAE, 2019), jotka käsittelevät LVI- järjestelmien toiminnanvarmistusprosessia. ASHRAE-standardi 202-2018 määrittelee projektille hyväksyttävän vähimmäisprosessin, kun taas ASHRAE-ohjeisto 0-2019 esittää parhaat käytännöt ja määrittää tarvittavat tehtävät. ASHRAE-standardi on erittäin kattava ja kuvaa toiminnanvarmistusprosessin ja eri toimijoiden roolit. ASHRAE panostaa omissa ohjeissaan myös paljon henkilöiden pätevyyteen. Koulutus- ja osaamistaso tulee arvioida hankkeessa mukana olevien henkilöiden osalta.

## 2.2 Suomessa tehdyt ohjeet

Suomessa on julkaistu toteutuksen varmistamisen käsikirja (ToVa-käsikirja) vuonna 2007 (Pietiläinen et al., 2007). Käsikirja on VTT:n tekemä ja se on laaja kokonaisuus käsittäen yhteensä yli 200 sivua. ToVa-käsikirja ei ole kuitenkaan kovin yleisesti tunnettu eikä sen käyttö ole vakiintunut osaksi suomalaista rakentamista. Käsikirjassa kuvataan laaja-alaisesti käyttöönottoprosessia

esisuunnitteluvaiheesta olemassa olevien rakennuksen toiminnanvarmistamista. Kuitenkin se on osittain jo vanhentunut ja käyttöönottokäsikirjasta tulisi tehdä päivitetty ja lyhennetty versio, joka olisi käyttökelpoisempi käytännön hankkeissa.

Rakennustieto on laatinut RT- kortiston. RT- kortin ohjeissa kuvataan hyviin rakentamismenetelmiin tähtäävät menettelytavat ja ne ovat laajasti käytössä rakennusalalla. RT-kortteja on tehty laajasti eri aiheista, mutta koko toiminnanvarmistusprosessin kattavaa ei ole laadittu. LVI-vastaanottoa koskevat RT-ohjeet RT 10-11301 (Rakennustietosäätiö, 2018a) ja RT 10-11302 (Rakennustietosäätiö, 2018b) ovat yleisesti käytössä Suomessa ja niillä on osittain samat tehtävät kuin kansainvälisissä toiminnanvarmistusohjeissa. RT- kortin ohjeet on kuitenkin keskittynyt LVI-testaus- ja luovutusvaiheeseen, joten näitä ohjeita ei voi suoraan käyttää kattavaan toiminnanvarmistukseen.

On huomattava, että Suomessa yleisesti käytetyt ympäristösertifikaatit edellyttävät myös dokumentoitua toiminnanvarmistusprosessia. Ympäristösertifikaatit, kuten BREEAM, LEED tai RTS, edellyttävät LVI-järjestelmien systemaattista vastaanottoa ja kyseiseen tehtävään vastuuhenkilön nimeämistä projekteissa.

### **3. Case-tutkimus hybridilämmitysjärjestelmien toiminnanvarmistuksesta**

Useaan lämmönlähteeseen perustuvat hybridilämmitysjärjestelmät ovat varsin monimutkaisia, ja niitä voidaan toteuttaa monin eri tavoin. Järjestelmien ideana on yhdistää ympäristöystävällinen lämmöntuotantomuoto (esim. maalämpöpumppu tai erilaisten hukkalämmönlähteiden hyödyntäminen) kaukolämpöön, jolloin valtaosa lämmöstä voidaan tuottaa paikallisesti ja kaukolämpöä hyödyntää korkeaa lämpötilaa vaativaan käyttöveden lämmitykseen sekä huipputehojen kattamiseen. Koska hybridit toimivat usein tarvittaessa myös pelkällä kaukolämmöllä eikä puutteellinen toiminta välttämättä näy mitenkään rakennuksen käytössä, järjestelmien kattava toiminnanvarmennus on ensiarvoisen tärkeää suunniteltujen hyötyjen saavuttamiseksi. Erityisesti käytönaikaiseen toiminnanvarmistukseen tulisi kiinnittää riittävästi huomiota.

#### **3.1 Metodiikka**

Tutkimuksessa tarkasteltiin hybridilämmitysjärjestelmien toiminnanvarmistusprosessien tilaa kaikkiaan kahdeksassa koekohteessa eteläisen Suomen alueella. Kohteet olivat erityyppisiä ja -kokoisia asuinkerrostalosta hybridilämmitteisiin kortteleihin. Kuhunkin kohteeseen tehtiin tutustumiskäynti, jonka jälkeen kohteen hybridijärjestelmien avainhenkilöitä haastateltiin järjestelmien toiminnasta ja toiminnanvarmistuksesta. Haastatteluja varten oli laadittu RT-korttien sekä kansainvälisten ASHRAE:n ja REHVA:n toiminnanvarmistusoppaiden pohjalta tarkastuslista olennaisista aiheista.



Haastatteluvastausten perusteella kohteiden toiminnanvarmistusprosessien laatua arvioitiin sekä selvitettiin, onko kohteiden toiminnanvarmistuksessa mahdollisia yhteisiä epäkohtia/parantamista vaativia asioita.

### 3.1.1 Haastattelut ja tarkistettavat asiat

Haastatteluihin pyrittiin kustakin koekohteesta saamaan kattavasti hybridijärjestelmien toteutuksen avainhenkilöitä hankkeen eri vaiheista. Henkilöstömuutoksista, eläköitymisistä ja ihmisten aikatauluista johtuen kaikkia ei kuitenkaan saatu haastateltua, joten kunkin kohteen kohdalla haastatteluvastaukset esittävät haastatteluihin päässeiden tahojen näkökulmia. Haastattelujen tueksi laadittiin RT-korttien (RT-11301 ja RT-11302) sekä ASHRAE:n ja REHVA:n toiminnanvarmistusohjeiden pohjalta kattava tarkastuslista (liite 1), johon oli hankevaiheittain listattu toiminnanvarmistuksen kannalta olennaisia asioita. Listaa täydennettiin myös hybridijärjestelmien toimintaan ja toiminnanvarmistukseen perehtyneiden asiantuntijoiden kommentteilla.

Listan alussa kerättiin perustietoja kohteista (kohteen tyyppi, koko, onko kyseessä uudis- vai korjausrakentamiskohde). Tämän jälkeen listassa käytiin hankevaiheittain hybridilämmitysjärjestelmän implementointiin ja toiminnanvarmistukseen liittyviä asioita. Alla on listattu kunkin hankevaiheen kohdalle kysymysten aihepiirit.

#### Hankesuunnitteluvaihe

- Hybridiprojektin tavoitteet
- Järjestelmäsuunnittelutiimin kokoonpano
- Suunnittelussa hyödynnetty aikaisempi data
- Hybridijärjestelmän tyyppi
- Etukäteen tehdyt tutkimukset
- Tuottavuuslaskelmat
- Toiminnanvarmistusprosessin suunnitelmat
- Ympäristösertifikaatit ja niihin liittyvä toiminnanvarmistus

#### Suunnitteluvaihe

- Suunnittelun vastuuhenkilöt
- Suunnittelussa käytetyt ohjelmistot ja työkalut
- Järjestelmän mitoitus
- Lämmitys-/(jäähdytys)piirin lämpötilatasot
- Suunnitelmien tarkastukset
- Rakennusautomaatio
- Laittevalinnat ja erityisvaatimukset

#### Rakennusvaihe

- Urakoitsijat, niiden toiminta ja laadunvalvonta
- Rakennusvaiheen toiminnanvarmistus
- Asennetut laitteet

- Muutokset ja päivitykset suunnitteludokumentteihin
- Suunnittelijan resurssit rakennusvaiheen aikana

#### Testaus- ja luovutusvaihe

- Toimintakokeet
- Rakennusautomaation tarkastukset
- Testausvaiheen dokumentaatio
- Toiminnanvarmistus ja käytön opastus

#### Toiminnanvarmistus luovutuksen jälkeen ja takuuajana

- Järjestelmän toiminnan seuranta ja analysointi
- Rakennusautomaation tarkastukset
- Jäähdytyksen ja lämmityksen tehokkuuden seuranta (COP)

#### Jatkuva toiminnanvarmistus käyttöajana

- Järjestelmän toiminnan seuranta ja analysointi
- Energiankulutuksen seuranta
- Vastuut järjestelmän toiminnasta
- Jatkuvasta toiminnanvarmistuksesta vastaavat tahot

Haastatteluvastausten perusteella koekohteiden hybridilämmitysjärjestelmien toiminnanvarmistusprosessia analysoitiin ja kohteille annettiin toiminnanvarmistuksen onnistumisen tasoon perustuva subjektiivinen arvosana.

#### 3.1.2 Koekohteiden tekninen kuvaus

Tutkimuksessa olleet kahdeksan koekohtetta (esitetty taulukossa 3.1) vaihtelivat pinta-alaltaan 9000 neliömetristä 100000 neliömetriin, joten kaikki kohteet olivat suuria kiinteistöjä/-ryhmiä. Koekohteina oli asuinkerrostaloja, toimistotaloja, kouluja, kauppakeskuksia sekä monikäyttöisiä rakennuksia. Neljä kohteista oli uudiskohteita, joihin oli rakentamisen yhteydessä tehty hybridilämmitysjärjestelmä. Muihin neljään hybridijärjestelmä oli asennettu jälkikäteen energiatehokkuutta parantamaan. Kussakin koekohteessa energiansäästö oli hybridijärjestelmän asentamisen päätavoite.

Taulukko 3.1. Hybridilämmitysjärjestelmien koekohteiden tekninen kuvaus.

Kohteen numero	Kiinteistön tyyppi	Kiinteistön koko	Hybridijärjestelmän tyyppi
1	Uusi asuinrakennus, jossa muutamia liike- ja toimistotiloja	9000 m <sup>2</sup>	Maalämpöpumppu, kaupan ja jäteveden hukkalämmön talteenotto. Vapaajäähdytys maapiiristä. Kaukolämpö/-kylmä kattamaan ylimenevät osuudet.
2	Uusi koulurakennus	9000 m <sup>2</sup>	Maalämpöpumppu + kaukolämpö. Vapaajäähdytys maapiiristä.
3	Uusi koulurakennus	10000 m <sup>2</sup>	Maalämpöpumppu + kaukolämpö. Vapaajäähdytys maapiiristä.
4	Remontoitu kerrostaloalue	29000 m <sup>2</sup>	Maalämpöpumppu + kaukolämpö. Vapaajäähdytys maapiiristä.
5	Remontoitu kaupakeskus	100000 m <sup>2</sup>	Kauppojen lauhdellämmön talteenotto lämpöpumpuilla, poistoilman lämmöntalteenotto, jäähdytyspiirin hukkalämmön talteenotto. Kaukolämpö kattamaan ylimenevät osuudet.
6	Remontoitu toimistorakennus, jossa liiketiloja ja elokuvateatteri	12500 m <sup>2</sup>	Ilma-vesilämpöpumppu, toinen lämpöpumppu lämpötilan nostoon. Kaukolämpö kattamaan ylimenevät osuudet.
7	Uusi asuinrakennus, jossa toimistoja ja kauppa	14000 m <sup>2</sup>	Lämpöpumppu kytetty kaukokylmäpiirin paluulinjaan. Kaukolämpö/-kylmä kattamaan ylimenevät osuudet. Alueellinen lämmitys- ja jäähdytysverkko.
8	Alue, jossa toimistoja ja opetusrakennuksia	14000 m <sup>2</sup>	Matalalämpöinen alueverkko + aluejäähdytys ilma-vesilämpöpumpuilla. Kaukolämpö/-kylmä kattamaan ylimenevät osuudet.

Jokaisen koekohteen lämmitysjärjestelmässä oli vähintään kaksi lämmönlähdettä, joista toinen oli kaukolämpö ja toinen jonkin tyyppinen lämpöpumppu. Vapaajäähdytystä maapiiristä tai ulkoilmasta hyödynnettiin niin ikään jokaisessa kohteessa. Neljään kohteeseen oli lisäksi tehty jäähdytystä varten kaukojäähdytyskytkentä. Kussakin kohteessa hybridijärjestelmä oli mitoitettu siten, että valtaosa vuotuisesta lämpöenergiatarpeesta katettaisiin lämpöpumpuilla ja loput tarvittaessa kaukolämmöllä. Lämpöpumppujen tehomitoitukset vaihtelivat välillä 20–50 % ja energiamitoitukset välillä 50–98 %. Lämmin käyttövesi tehtiin kohteissa pääosin kaukolämmön avulla, sillä tarvittavaa korkeaa lämpötilaa on harvoin järkevää tuottaa yksistään lämpöpumpulla.

### 3.1.3 Koekohteiden toteutusmuoto

Kaikissa koekohteissa oli lähiaikoina tehty rakennusprojekti, joka joko suoraan tai epäsuorasti liittyi hybridilämmitysjärjestelmän rakentamiseen. Urakkamallit ja toiminnanvarmistusprosessin vastuualueet vaihtelivat kohteiden välillä. Kolme kohteesta oli tehty kokonaisvastuullisen rakentamisen (KVR) mallilla, jossa rakennusurakoitsija oli jakanut hybridijärjestelmän toteutuksen osiin eri aliurakoitsijoille. Toisissa kolmessa oli kokonaisvastuullinen LVIA-urakoitsija pääurakoitsijana, ja loppuissa kahdessa alueellinen hybridijärjestelmä oli toteutettu erillisenä urakkana.

Kohde 1 oli pääurakkamallilla toteutettu uusi asuinkerrostalo, jossa oli kauppa ja muutamia toimistotiloja. Hybridijärjestelmän suunnittelu ja toteutus oli eriytetty muusta rakennusprojektista, ja niitä varten oli palkattu suunnittelija konsultiksi. Kyseinen suunnittelija vastasi järjestelmän toiminnanvarmennuksesta ja projektitiimin vetämisestä. Kattavien kannattavuuslaskelmien ja etukäteismallinnusten tuloksena kohteeseen päädyttiin asentamaan maalämpöpumpun ja kaukolämmön hybridi, jossa lämpöpumpulla pystytään kattamaan n. 30 % huipputehon tarpeesta ja yli 90 % rakennuksen vuotuisesta energiantarpeesta. Hybridijärjestelmän asennuksen otti vastuulleen kaukolämpöoperaattori, joka myös omistaa järjestelmän. Asennustyö teetettiin operaattorin valitsemalla laitetoimittajalla ja tämän omilla urakoitsijoilla. Järjestelmän valmistuttua projektissa alusta asti olleen suunnittelijakonsultin sopimusta jatkettiin käyttövaiheeseen, ja hänen vastuulleen asetettiin järjestelmän toiminnan seuranta ja raportointi kuukausittaisten toiminta- ja energiankulutusraporttien muodossa.

Kohteet 2 ja 3 olivat uusia koulurakennuksia, jotka oli toteuttanut KVR-mallilla sama rakennusyritys. Koulut olivat 20 vuoden elinkaarikohteita, joiden ylläpidosta rakennusyritys kaupungin laskuun vastasi. Kaupunki halusi kumpaankin kouluun maalämpö-kaukolämpöhybridin, joka täyttäisi RTS-ympäristöluokituksen neljän tähden kriteerit. Rakennusyritys tilasi hybridijärjestelmien suunnittelun LVI-suunnittelu/konsulttitoimistolta, joka ei eritellyt suunnitelmiin mitään tiettyjä laitevalintoja. Hybridijärjestelmän toteutus jaettiin aliurakoiksi neljälle urakoitsijalle, jotka rakennusyritys valitsi kilpailutuksen perusteena kunkin erikseen. Toteutustiimiä vetivät päävastuussa olevan rakennusyrityksen edustajat, ja mukana oli lisäksi aliurakoitsijoiden edustajia sekä LVI-suunnittelijoita. Hybridijärjestelmät mitoitettiin etukäteismallinnuksien perusteella. Lämpöpumpun mitat olivat kohteelle 2 10 % huipputehosta / 60 % vuotuisesta energiasta ja kohteelle 3 9 % / 67 %. Elinkaarisopimukseen kuului vastuu energiatarpeista, ja pääurakoitsija joutuu maksamaan kaupungille sopimussakkoa, mikäli tavoitettuihin energiankulutusarvoihin ei päästä. Kohteet olivat analyysin aikaan vielä takuvaiheessa ja järjestelmissä oli pieniä toimintahäiriöitä, minkä vuoksi elinkaarimallin mukaista energiaraportointia ei ollut vielä aloitettu.

Kohde 4 oli remontoitu kerrostaloalue, jonka rakennuksiin oli asennettu remontin yhteydessä hybridilämmitysjärjestelmät. Urakka tehtiin avaimet käteen -periaatteella ja pääurakoitsijana toimi rakennusten omistajan valitsema rakennusyritys, joka puolestaan valitsi omat aliurakoitsijansa. Hankkeen tavoitteena oli vähentää kerrostaloalueen energiankulutusta kolmanneksella. Hankkeeseen valittu LVI-suunnittelutoimisto antoi hybridijärjestelmän toteutukselle kolme vaihtoehtoa ajasta riippuviin mallinnuksiin perustuen, sillä aiempaa kulutusdataa ei voitu IV-järjestelmän remontin vuoksi käyttää pohjatietona. Esitetyt mallit olivat poistoilmalämpöpumppu + kaukolämpö, maalämpöpumppu + kaukolämpö ja lähes täystehomitoitettu maalämpöpumppu + sähkökattila. Näistä valittiin keskimäinen kokonaiskustannuksiltaan edullisimpana vaihtoehtona. Maalämpöpumpuilla on tarkoitus kattaa n. 17 % huipputehon ja n. 50 % vuotuisen kokonaisenergian tarpeesta. Järjestelmän toteutustiimissä oli LVI-asiantuntijoita asiakkaan puolelta sekä asiakkaan palkkaamat LVI-valvoja ja -suunnittelija. Remontin pääurakoitsijana toimivalla rakennusyrittäjällä oli kokonaisvastuu rakennusprojektissa mukaan lukien hybridijärjestelmä. Valmistumisen jälkeen järjestelmän toiminnasta oli tarkoitus raportoida kiinteistön omistajalle puolen vuoden välein, mutta analyysiä tehtäessä järjestelmä oli ollut reilun vuoden käytössä, eikä raportointia ollut tehty. Energiamittarointi oli puutteellinen, minkä vuoksi eri lämmityspiirien ja lämpimän käyttöveden kulutuksia ei voitu mitata erikseen.

Kohde 5 oli remontoitu kauppakeskus, johon oli asennettu hybridilämmitysjärjestelmä suuren energiatehokkuushankkeen tuloksena. Hankkeen tavoitteena oli parantaa keskuksen energiatehokkuutta, jotta ilmastotavoitteisiin olisi mahdollista päästä. Hanke toteutettiin pääurakamallilla, jossa vastuullisena urakoitsijana toimi LVIA-urakoitsija. Hankkeen suunnittelusta ja valvonnasta vastasi LVI-suunnittelu/konsulttitoimisto. Järjestelmän päälämmönlähteenä toimi suurten hypermarkettien lauhdelämpö, jonka hyödyntämisen suunnittelijat optimoivat. Lopputuloksena oli useaan lämpöpumppuun perustuva järjestelmä, joka hyödynsi paitsi markettien kylmäköiden lauhdelämmön, myös tilojen jäädytyksestä syntyvän hukkalämmön sekä poistoilman lämmön. Lämpöpumpuilla pystyttiin laskujen mukaan kattamaan n. puolet huipputehon tarpeesta ja 75 % vuotuisesta lämmitysenergian tarpeesta. Loput tuotettiin kaukolämmöllä. Järjestelmään asennettiin toteutuksen yhteydessä kattava lämmitys- ja jäädytysenergian monitorointi, mikä mahdollisti järjestelmän toiminnan käytönaikaisen etäseurannan, jonka LVI-suunnittelutoimisto oli valmis tarjoamaan. Analyysiä tehtäessä kiinteistön omistaja ei kuitenkaan ollut ko. palveluun investoinut.

Kohde 6 oli remontoitu toimistorakennus, jossa oli myös liiketiloja ja elokuvateatteri. Kohteeseen oli hiljattain tehty energiaremontti, jonka tavoitteena oli vähentää kaukolämmön ja -kylmän kulutusta. Urakamalliltaan kohde vastasi kohdetta 5 eli vastuullisena pääurakoitsijana toimi kokenut LVIA-urakoitsija, ja hybridijärjestelmän suunnittelusta sekä valvonnasta vastasi LVI-suunnittelu/konsulttitoimisto. Tässä kohteessa hybridijärjestelmäksi valikoitui ilma-vesilämpöpumpun ja kaukolämmön/-kylmän yhdistelmä, johon oli lisäksi kytketty toinen lämpöpumppu tuottamaan korkeampaa lämpötilaa. Vaikka kahden lämpöpumpun järjestelmän investointikustannukset olivat huomattavasti korkeammat kuin pelkän ilma-vesilämpöpumpun, elinkaarilaskentojen mukaan kokonaiskustannukset olivat silti pienemmät. Järjestelmän lämpöpumppujen avulla pystytään tuottamaan n. 80 % vuotuisesta lämmitysenergian tarpeesta. Koska ilma-vesilämpöpumppu on altis jäätymiselle kylmillä pakkaskeleillä, huipputeho pystytään talvella tarvittaessa tuottamaan pelkällä kaukolämmöllä. Myös tässä kohteessa järjestelmään asennettiin kattava monitorointi, joten järjestelmän käytönaikainen seuranta on helposti toteutettavissa.

Kohde 7 oli uudisrakennus, joka oli osa isompaa vihreän energian asuinaluehanketta. Rakennuksessa oli toimistoja, asuntoja, ravintola, kuntosali ja kauppa. Rakennusprojekti oli jaettu usealle urakoitsijalle, joista rakennusurakoitsijalla oli päävastuu. Aluehankkeen tavoitteena oli energiapositiivinen kortteli, joka tuottaa 120–130 % käyttämästään energiasta paikan päällä ympäristöystävällisesti. Hanke oli samalla tutkimusprojekti, joten mukana oli myös tutkimusorganisaatio. Hybridijärjestelmän toteutusryhmässä oli LVI-pääsuunnittelija sekä edustajia asiakkaan LVI-asiantuntijaorganisaatiosta, laitetoimittajalta, kaukolämpö/-jäähdytysoperaattorilta, tutkimusorganisaatiosta ja järjestelmäurakoitsijalta. Laitetoimittaja oli suunnitellut järjestelmän energiaprojektin puitteissa ja se sisälsi perinteisen toiminnallisuuden lisäksi älykkäitä ominaisuuksia optimoimaan energiavirtoja koko alueella. Järjestelmän lämmönlähteinä olivat poistoilmalämpöpumppu sekä kaukokylmäverkon ylijäämälämpö. Ylimääräinen tuotettu lämpö pystyttiin siirtämään operaattorin kaukolämpöverkon kautta muihin alueen rakennuksiin, joissa oli lämmitystarvetta. Hanke oli siten muista kohteista poikkeava, että kyseessä oli uusia ratkaisuja pilotoiva tutkimushanke, jossa investointikustannukset eivät olleet merkittävä valintatekijä. Rakennuksen koko vuotuinen energiantarve pystyttiin kattamaan lämpöpumpulla, mutta tarvittaessa myös ottamaan kokonaisuudessaan aluelämpöverkosta. Rakennuksessa oli erittäin kattava energiamonitorointi, joka mahdollisti toiminnan täydellisen etäseurannan.

Kohde 8 oli kokonainen kortteli, joka koostui toimisto-, opetus- ja tutkimusrakennuksista. Rakennukset olivat vanhoja, mutta niitä oli remontoitu kattavasti ja osin laajennettu lähiaikoina. Hybridijärjestelmähankkeen tavoitteena oli tehdä korttelin energiajärjestelmästä vihreä ja vähähiilinen. Kortteliin oli vastikään asennettu uudet aluekaukolämpö- ja aluekaukokylmäverkot, joita hyödynnettiin hankkeessa. Järjestelmän toteuttajaksi valikoitui verkot omistava energiaoperaattori. Toteutusmuoto oli hyvin erilainen kuin muissa koekohteissa, sillä tässä kohteessa operaattori omisti itse kaikki järjestelmät ja myi vihreää hybridienergiaa asiakkaalle palveluna. Hanke sai valtiolta investointitukea, mikä lisäsi kannattavuutta entisestään. Hybridijärjestelmän toteutusryhmässä oli asiakkaan LVI-asiantuntijoita, energiaoperaattorin omia asiantuntijoita sekä ulkopuolisen suunnittelutoimiston edustajia. Järjestelmätoteutus valittiin optimoimalla eri ratkaisut 20 vuoden elinkaarelle. Parhaaksi ratkaisuksi valikoitui keskitetty usean ilma-vesilämpöpumpun muodostama järjestelmä. Lämpöpumput oli yhdistetty matalalämpöiseen (+45°C/+35°C) aluelämpöverkkoon sekä aluekylmäverkkoon (+8°C/+16°C). Ilma-vesilämpöpumppujen lisäksi energiaa tuotettiin paikallisesti hyödyntämällä rakennusten hukkalämpöä. Täten järjestelmän avulla pystyttiin kattamaan n. 70 % vuotuisesta lämmitysenergian tarpeesta. Alueen energiavirtojen monitorointia varten oli asennettu kattava järjestelmä, jonka kautta energiaoperaattori seurasi säännöllisesti järjestelmän käytönaikaista toimintaa.

### **3.2 Tulokset**

Haastattelujen perusteella tehtiin laadullinen analyysi toiminnanvarmistusprosessin tilasta ja hybridijärjestelmien toiminnasta koekohteissa. Yleisenä huomiona kansainväliset ASHRAE:n ja REHVA:n toiminnanvarmistusohjeistukset eivät olleet tuttuja, vaan toiminnanvarmistuksen pohjana oli kaikissa koekohteissa käytetty RT-korttien 10–11301 ja 10–11302 menettelyjä. Merkittävin ero näiden välillä on se, että RT-korteissa toiminnanvarmistusprosessi alkaa vasta rakennusvaiheessa, kun taas ASHRAE:n ja REHVA:n määrittely kattaa kaikki hankevaiheet hankesuunnittelusta lähtien. RT-korttien ohjeita ei niitäkään ollut useimmissa kohteissa täysin noudatettu. Toinen huomio oli se, että Suomessa termi "toiminnanvarmistusvastaava" sekoitetaan usein LVI-valvojan. Useassa koekohteessa LVI-

valvojalla oli vastuu toiminnanvarmistuksesta, muttei riittävää hybridijärjestelmien asiantuntemusta sitä varten. Toiminnanvarmistus oli kussakin koekohteessa tehty hieman eri tavoin, mikä korostaa kattavan ohjeistuksen ja standardimenettelyn puutetta. Niissä kohteissa, joissa hybridijärjestelmästä vastannut tiimi oli kasattu heti hankkeen alussa, toiminnanvarmistuksessa oli onnistuttu keskimäärin paremmin.

Analyysin perusteella kohteille annettiin arvosanat asteikolla 0–5 puolikkaan välein. Päähuomiot kohteista sekä niiden saamat arvosanat on esitetty taulukossa 3.2. Korkeimpaan arvosanaan vaadittiin esimerkillinen toiminnanvarmistusprosessi sekä täysin suunnitellusti toimiva hybridilämmitysjärjestelmä. Arvosanan 4 sai, mikäli järjestelmä toimi pääosin hyvin ja toiminnanvarmistusprosessi oli selkeä ja kattava. Osittainen toiminnanvarmistusprosessi ja selkeät, muttei kriittiset puutteet järjestelmän toiminnassa tai monitoroinnissa johtivat arvosanaan 3. Mikäli toiminnanvarmistusprosessista oli jätetty tärkeitä vaiheita välistä ja järjestelmässä oli korjausta vaativia ongelmia, arvosana oli 2. Arvosanan 1 kohde sai, jos toiminnanvarmistusprosessi oli suurilta osin puutteellinen, eikä järjestelmä toiminut suunnitellusti. Hylätty eli 0 olisi tullut kyseeseen, mikäli järjestelmä ei olisi ollut lainkaan toiminnallinen.

Taulukko 3.2. Koekohteiden toiminnanvarmistusprosessien laadullinen analyysi

Koekohteen numero	1
Yleiskuva rakentamisprosessista ja hybridijärjestelmän toiminnasta	Hybridijärjestelmä toimi suunnitellusti. Hybridijärjestelmähankeesta vastasi asiantuntijaryhmä koko hankkeen ajan hankesuunnittelusta käytönaikaan. Prosessi oli esimerkillinen ja hanke hyvin hallinnoitu. Toiminnanvarmistusvastaavaksi oli palkattu konsultti.
Toiminnanvarmistuksen toteutus	Asiakkaan hankesuunnitteluvaiheessa palkkaama konsultti toimi toiminnanvarmistusvastaavana alusta käyttövaiheeseen asti.
Arvosana	5/5, esimerkillinen

Koekohteen numero	2 ja 3
Yleiskuva rakentamisprosessista ja hybridijärjestelmän toiminnasta	Takuuajan korjaukset olivat edelleen käynnissä. RTS-ympäristöluokituksen mukaista toiminnanvarmistusprosessia oli tarkoitus noudattaa, mutta käytännön toteutuksesta ei ollut tietoa. Mittarointi mahdollisti laajan jatkuvan toiminnan seurannan käyttövaiheessa. Hybridijärjestelmän toteutuksessa oli mukana useita urakoitsijoita ja niiden vastualueet olivat epäselvät. Päävastuullisen urakoitsijan puute aiheutti epäselvyyttä ja häiriöitä tiedonkulussa.
Toiminnanvarmistuksen toteutus	Osittain RT-korttien mukainen toteutus, tehtiin pääosin testaus- ja luovutusvaiheissa. RTS-ympäristöluokituksen mukainen toiminnanvarmistuksen valvonta oli tilattu ulkopuoliselta valvojalta. Urakoitsijan valvontaorganisaatio ei tiennyt, miltä osin RTS-luokituksen toiminnanvarmennusprosessi oli käytännössä toteutettu.
Arvosana	3/5, hyvä

Koekohteen numero	4
Yleiskuva rakentamisprosessista ja hybridijärjestelmän toiminnasta	Hybridijärjestelmän energiankulutusta ei voitu mittaroinnin puutteiden takia seurata tai verrata aikaisempaan. Järjestelmän toiminnassa puutteita ja ongelmia (automaatio, lämpöpumpun toiminta, venttiilit). Pääurakoitsija oli teoriassa vastuussa toteutuksesta, mutta käytännössä vastuut olivat epäselvät. Henkilövaihdokset häiritsivät tiedonkulkua, eivätkä ongelmakohtien korjaukset olleet edenneet.
Toiminnanvarmistuksen toteutus	Osittain RT-korttien ohjeiden mukainen toteutus, pitkälti testaus- ja luovutusvaiheissa. Asiakas oli palkannut LVI-valvojan samasta yrityksestä kuin kohteen LVI-pääsuunnittelijan. Pääurakoitsijan edustaja ei osallistunut toiminnanvarmistusprosessiin lainkaan. Sopimuksen mukaan energiaraportointia piti tehdä 6 kuukauden välein, mutta todellisuudessa mitään raportointia ei ollut.
Arvosana	1.5/5, välttävä



Koekohteen numero	5
Yleiskuva rakentamisprosessista ja hybridijärjestelmän toiminnasta	Hybridilämmitysjärjestelmä toimii hyvin ja rakentamisprosessi oli niin ikään hyvä. Projektitiimissä asiantuntevat suunnittelijat ja urakoitsijat. Etäseuranta on ulkoistettu kiinteistöhuollolle ja seurannan taso on epäselvä. Mittarointi mahdollistaa kuitenkin kattavan seurannan avulla. Tehokertoimen reaaliaikainen seuranta on hankalaa, koska ostosähkön mittarointi on eri järjestelmässä.
Toiminnanvarmistuksen toteutus	Suunnittelu ja käytännön toiminnanvarmistus LVI-suunnittelu-/konsulttitoimiston toteuttama, perustuu RT-korttien ohjeisiin. Samainen toimisto vastasi myös LVI-valvonnasta. Urakoitsijalta saatu kattava dokumentaatio laiteasennuksista ja luovutuksista.
Arvosana	4,5/5, erinomainen

Koekohteen numero	6
Yleiskuva rakentamisprosessista ja hybridijärjestelmän toiminnasta	Hyvä prosessi, kattava mittarointi ja käytönaikainen toiminnanvarmistus käynnissä. Projektitiimissä asiantuntevat suunnittelijat ja urakoitsijat. Järjestelmän toiminnassa hieman ongelmia (ilma-vesilämpöpumpun höyrystin), joita laitetoimittaja selvitteli. Tässäkään kohteessa reaaliaikainen Tehokerroinseuranta oli haastavaa ostosähkön erillisen mittaroinnin vuoksi.
Toiminnanvarmistuksen toteutus	RT-korttien ohjeistukseen pohjautuva prosessi, suunniteltu ja toteutettu LVI-suunnittelu-/konsulttitoimiston toimesta. Sama toimisto vastasi myös LVI-valvonnasta. Kattava dokumentaatio pääurakoitsijalta laiteasennuksista ja luovutuksista.
Arvosana	4,5/5, erinomainen

Koekohteen numero	7
Yleiskuva rakentamisprosessista ja hybridijärjestelmän toiminnasta	Hyvin toteutettu prosessi, jossa vastuunjako oli selkeä. Järjestelmän toimintaa haittasi kaukolämpö/-kylmäoperaattorin vaatimus kaukokylmän paluulämpötilalle, mikä heikensi lämpöpumpun tehokerrointa. Laitetoimittajan toimitukseen sisältyi integroitu automaatiojärjestelmä, joka toimi erittäin hyvin.
Toiminnanvarmistuksen toteutus	Osittain RT-korttien ohjeistuksien mukaan keskittyen testaus- ja luovutusvaiheisiin. Asiakkaan nimittämä valvoja, laitetoimittajan edustaja, LVI-suunnittelija ja kaukolämpö/-kylmäoperaattorin edustaja osallistuivat kaikki toimintakokeisiin ja tarkastuksiin. Tiimityö hyvällä tasolla.
Arvosana	4,5/5, erinomainen

Koekohteen numero	8
Yleiskuva rakentamisprosessista ja hybridijärjestelmän toiminnasta	Järjestelmä toimii erittäin hyvin. Projektitiimi osaava ja tietotaitoinen. Pieniä ongelmia ilmasilämpöpumppujen sulatuksessa (laitetoimittajan vastuulla). Energiaoperaattori omisti järjestelmän ja oli vastuussa sen toiminnasta.
Toiminnanvarmistuksen toteutus	Energiaoperaattori käytti omaa, erittäin kattavaa toiminnanvarmistusprosessiaan ja vaati urakoitsijoilta sekä laitetoimittajilta kattavat dokumentit laitetesteistä, asennuksista ym.
Arvosana	5/5, esimerkillinen

### 3.3 Toimivat ja kehitettävät prosessivaiheet

Hybridilämmitysjärjestelmien toiminnanvarmistusprosessi pohjautui useimmissa koekohteissa RT-korttien ohjeisiin, joissa keskitytään testaus- ja luovutusvaiheen toiminnanvarmistukseen. Niinpä prosessi toimi keskimäärin parhaiten noissa hankevaiheissa. Hybridijärjestelmät ovat kuitenkin monimutkaisia kokonaisuuksia, joten virheettömän toiminnan takaamiseksi toiminnanvarmistusprosessin tulisi kattaa kaikki hankevaiheet hankesuunnittelusta jatkuvaan käytönaikaiseen toiminnanvarmistukseen.

Kriittisiä vaiheita järjestelmän toiminnan kannalta ovat rakentamisvaihe ja käyttövaihe. Rakentamisvaiheessa on tärkeää, että hybridijärjestelmän laitteistojen yhteistoiminta varmistetaan huolellisesti. Järjestelmät koostuvat usein eri valmistajien osakokonaisuuksista, joiden yhteensovittaminen ei aina ole helppoa. Laitteistoja asennettaessa on myös erittäin tärkeää, että vastuunjako on selkeä ja kokonaisvastuullinen taho on tiedossa. Tutkimus osoitti, että etenkin useammalle urakoitsijalle jaetuissa urakoissa vastuut olivat usein epäselvät, mikä johti ongelmiin järjestelmien toiminnassa.

Käyttövaiheen toiminnanvarmistuksen tärkeys korostuu hybridilämmitysjärjestelmissä, sillä järjestelmät on usein mitoitettu toimimaan tarvittaessa pelkällä kaukolämmölläkin. Tällöin rakennukset ja käyttövesi lämpenevät täysin samalla tavalla, vaikka koko kallis lämpöpumppujärjestelmä olisi täysin poissa pelistä, ja tilanne selviää ainoastaan tarkastelemalla energiavirtoja. Tämän vuoksi hybridilämmitysjärjestelmien toimintaa tulisi seurata vertailemalla olennaisia mitattuja tunnuslukuja säännöllisesti (esim. kuukausittain) laskettuihin koko järjestelmän elinkaaren ajan, jotta mahdolliset viat havaitaan ajoissa.



## 4. Case- tutkimus IMS- järjestelmien toiminnanvarmistuksesta

Useissa yhteyksissä aiemmin on huomattu, että tarpeenmukaiset ilmamääräsäätiset (IMS) ilmanvaihtojärjestelmät eivät toimi useinkaan suunnitellulla tavalla. Tämä on johtunut moninaisista syistä liittyen rakennuksen rakentamisen ja käytön prosesseissa ilmenneisiin puutteisiin. Tämän vuoksi IMS-järjestelmien mahdollistamien laadukkaan sisäilmaston ja erinomaisen energiatehokkuuden saavuttaminen on heikentynyt. Tässä tutkimuksessa on case-tutkimuksen avulla selvitetty IMS-järjestelmien toimintaa koekohteissa. Tutkimuksen tavoite on löytää koekohteiden toiminnanvarmistuksen prosessien puutteet ja ratkaisut, joilla varmistetaan hyvin toimivat IMS-järjestelmät.

### 4.1 Metodiikka

Case- tutkimuksen IMS- järjestelmien toiminnanvarmistuksesta ensimmäisessä vaiheessa tehtiin kirjallisuusselvitys tarpeenmukaisten ilmanvaihtojärjestelmien toiminnan puutteista ja tarvittavista parannuksista. Tämä vaihe oli myös osa Nordic Ventilation Group (NVG) ryhmän työtä, joka tehtiin Aalto-yliopiston johdolla ja johon osallistui LVI-tekniikan pohjoismaisia tutkijoita. Kirjallisuusselvitys on esitetty tässä raportissa suomenkielisenä tiivistelmänä. Tutkimuksen toisessa vaiheessa selvitettiin IMS-järjestelmien toimintaa koekohteissa. Tutkimuksen koekohteiksi valittiin seitsemän erilaista koulu- ja toimistorakennusta. Näissä tehtiin kohdekäynnit, rakennusten teknisen henkilöstön haastattelut ja taustatutkimusta rakennusautomaatiojärjestelmistä. Näiden perusteella tutkimustuloksia analysoitiin kokonaisuutena ja tehtiin tässä raportissa esitetyt päätelmät koekohteiden toiminnanvarmistuksen prosessien puutteista ja ratkaisuista, joilla varmistetaan hyvin toimivat IMS-järjestelmät.

#### 4.1.1 Kirjallisuusselvitys tarpeenmukaisten ilmanvaihtojärjestelmien toiminnan puutteista ja tarvittavista parannuksista

Kirjallisuusselvityksessä korostui tarpeenmukaisen ilmanvaihdon (IMS) järjestelmien tärkeys rakennuksissa ja järjestelmien nykyisten haasteiden korjaamisen tarve. Tämä selvitys (Mustakallio, 2023) laadittiin Pohjoismaisen Ilmanvaihtoryhmän (NVG) toimesta ryhmän kokemuksen ja Pohjoismaisen Ilmanvaihtoforumin 21. syyskuuta 2022 tulosten pohjalta. Se koski kaikkia rakennustyyppisiä, joissa on IMS-järjestelmiä. Pääpaino oli kaupallisissa ja julkisissa rakennuksissa,

joissa IMS-järjestelmiä käytetään eniten, mutta myös asuinrakennusten ongelmia käsiteltiin ja vastaavat periaatteet pätevät niihin.

Tarve merkittävälle rakennusten energiankulutuksen vähentämiselle ja samalla paremmalle sisäilman laadulle kasvattamalla ilmanvaihtoa luo tarpeen IMS-järjestelmille rakennuksissa (Li et al., 2022). Tällä hetkellä lähes 40 % Euroopan kokonaisenergiankulutuksesta käytetään rakennuksiin ja niiden ilmanvaihto tuottaa merkittävän osan siitä (Merema et al., 2018, Zhao et al., 2022). Tutkimusten mukaan lämmitys-, ilmanvaihto- ja ilmastointijärjestelmien energiankulutusta voidaan vähentää 20-50 % (Li et al., 2022, Merema et al., 2018, Mysen et al., 2005) verrattuna vakio ilmavirroilla toimiviin ilmanvaihtojärjestelmiin (vakioilmavirtajärjestelmät). Tämä riippuu suuresti esimerkiksi tilojen käyttöasteista ja niiden vaihtelusta rakennuksissa. Tyypillinen käyttöaste on noin 30-40 % monissa toimistorakennuksissa (Merema et al., 2012).

IMS-järjestelmän pääperiaate on ylläpitää hyvää sisäilmastoa rakennuksen asukkaille dynaamisesti säätämällä ilmanvaihdon tulo- ja poistoilmavirtoja tilojen käytön, ilman epäpuhtauksien ja lämpökuormien mukaan. Yleensä myös vesipohjaiset lämmitys- ja jäähdytysjärjestelmät (kuten ilmastointipalkit, puhallinkonvektorit tai säteilypaneelit) liitetään IMS-järjestelmään. Näissä järjestelmissä ilmavirta perustuu tilojen käyttöasteeseen ja ylimääräinen jäähdytys/lämmitystarve katetaan vesipohjaisella järjestelmällä. Vakioilmavirtajärjestelmät on suunniteltava vaativimpiin tilanteisiin suurimmalla ilmavirralla eivätkä ne kykene vähentämään ilmanvaihdon puhaltimen energiankulutusta ja jäähdytys-/lämmitysenergiankulutusta ilman IMS-toimintaa.

Tyypillisesti IMS-järjestelmässä ilmanvaihtoilmavirtoja ohjataan aikataulun, tilan läsnäolotunnistimen, lämpötila-anturin ja sisäilmanlaadun antureiden perusteella. Yleisimmin käytetyt sisäilmanlaadun anturit IMS-järjestelmissä ovat hiilidioksidianturit (CO<sub>2</sub>-anturit). Tilojen tai ilmanvaihdon päätelaitteiden ilmavirtojen säätö voidaan toteuttaa moduloidusti tilan minimi- ja maksimi-ilmavirtojen välillä, määritettyjen ilmavirtatilojen perusteella tai päälle/pois -säätönä maksimi-/normaali-ilmavirtatiloissa. IMS-järjestelmien ilmavirta-asetukset voidaan suunnitella yksittäisille tiloille, vyöhykkeille tai avoimille alueille kuten avotoimistoille. Asuinkerrostalojen IMS-järjestelmät voivat säätää ilmanvaihdon ilmavirtoja asuntokohtaisesti. Tämä tehdään yleensä siirtymällä matalaan ilmavirtaan, kun asunto on tyhjä, tai käyttämällä tehostettua ilmavirtatilaa, kun keittiön liesituuletinta käytetään. Sisäilmaston ylläpitämiseksi IMS-järjestelmän tulisi säätää ilmanvaihdon ilmavirtoja tilakohtaisesti. Yleisesti ottaen tavoitteena on säilyttää tasapaino tulo- ja poiston välillä säätämällä ilmavirrat tilakohtaisesti. IMS-järjestelmiä voidaan määritellä paineesta riippumattomiin ja paineeseen riippuvaisiin järjestelmäkategorioiden liittyen ilmavirtojen säätöön ilmanvaihtokanavistossa.

Kirjallisuusselvityksessä esiteltiin Pohjoismaisen Ilmanvaihtoforumin esityksissä ja keskusteluissa havaitut ongelmat ja haasteet IMS-järjestelmillä varustetuissa rakennuksissa. Nämä perustuivat havaintoihin todellisissa rakennuksissa (esimerkiksi kenttämittauksiin) (Zhao et al., 2022, Mysen et al., 2014, Alanko, 2020). Näiden ongelmien moninaisuus osoittaa IMS-järjestelmien suorituskyvyn parantamisen tarpeen, vaikka se ei raportoikaan tarkasti näiden ongelmien laajuutta rakennuksissa, joissa on IMS-järjestelmiä. Suurin osa näistä ongelmista liittyy rakennusprosessin eri vaiheisiin. Tällöin voi olla kyse teknisistä ongelmista, mutta niitä ei ole korjattu asianmukaisesti rakennusprosesseissa. IMS-järjestelmät ovat monimutkaisia, ne vaativat enemmän tietoa ja sisältävät enemmän antureita ja toimilaitteita kuin ilmanvaihtojärjestelmät, joissa käytetään vakioilmavirtaa. Rakennusten teknisellä huoltohenkilöstöllä ei ole riittävästi tietoa ja taitoja näiden järjestelmien hallintaan. Ongelmia ilmeni

kaikissa rakennusprosessin vaiheissa: suunnittelu, asennus, käyttöönotto ja käyttö. Löydökset on lueteltu tarkemmin englanninkielisessä kirjallisuuskatsausdokumentissa (Mustakallio, 2023).

Kirjallisuusselvityksessä esitellään seuraavat ratkaisut ja korjaustoimenpiteet ongelmien korjaamiseksi IMS-järjestelmillä varustetuissa rakennuksissa. Nämä liittyivät rakennuksien suunnitteluun, asennukseen, käyttöönoton ja käytön prosesseihin:

- Nykyiset prosessit suunnittelussa, käyttöönotossa ja kunnossapidossa eivät takaa korkeaa suorituskykyä, näitä tulisi parantaa
- Suunnittelijoiden, urakoitsijoiden ja kunnossapito henkilöstön koulutuksen parantaminen
- Kunnolla toteutettu suunnittelu keskittyen vaatimuksiin
- Päivitetyt ja kiinteistökohtaiset dokumentit
- Perusteelliset käyttöönototestit ennen rakennuksen käyttöönottoa
- Parannetut käyttöönotto- ja kunnossapitoprosessit/sopimukset
- Hyvin suunnitellun rakennusautomaatiojärjestelmän hyödyntäminen jatkuvassa seurannassa
- Kunnossapito henkilöstön arvostuksen ja motivaation parantaminen IMS-järjestelmistä
- Säännölliset tarkastukset ja uusintakäyttöönotot

Seuraavat parannukset olivat keskeisiä IMS-järjestelmien teknologiaan liittyen:

- IMS-järjestelmän ilmavirtojen mittaus- ja säätölaitteiden laaja ilmavirta-alue ja luotettava toiminta
- Älykäs ja varmatoiminen säätöjärjestelmä
- Tilojen olosuhteiden ja IMS-järjestelmän toiminnan monitorointi hyödyntäen IoT-teknologiaa

Kirjallisuusselvityksen perusteella IMS-järjestelmillä on potentiaalia parantaa rakennusten energiatehokkuutta ja sisäilmaston laatua.

#### 4.1.2 Haastattelut ja tarkistettavat asiat

Tutkimuksessa käytettiin pohjana haastattelukysymyksiä. Nämä keskittyivät koekohteen rakentamisen ja käytön prosesseihin. Kirjallisuusselvityksen perusteella kysymyksiä oli tarkennettu, jotta löydettäisiin haasteet prosessin eri vaiheissa. Näiden kysymysten lisäksi jokaisen koekohterakennuksen vaiheen kohdalla kysyttiin haastateltavien näkemystä kohdatuista haasteista ja asioista liittyen hyvin toimivan IMS-järjestelmän toteutukseen rakennuksessa.

Koekohteiden haastattelukysymykset tiivistetyt seuraavassa prosessivaiheittain. Yksityiskohtaisempi lista haastattelukysymyksistä taustakysymyksineen on esitetty Liitteessä 2.

Koekohteen perustiedot ja hankesuunnitteluvaihe

- Rakennuksen tyyppi ja käyttötarkoitus
- Rakennuksen nykyinen tilanne
- Rakennuksen ilmanvaihtojärjestelmän tiedot
- IMS-järjestelmähankkeen tavoite
- Suunnitteluryhmä
- Toiminnanvarmistussuunnitelma

#### Suunnitteluvaihe

- Suunnittelun vastuuhenkilöt, tekijät ja tehtävät
- Toiminnanvarmistuksen ohjeistukset
- IMS-järjestelmän säätö: ilmanvaihtokoneella, ilmanvaihtokanavistossa/vyöhykkeissä ja huoneissa
- Suunnitelmien tarkastus
- Käyttövaiheen toiminnan monitoroinnin suunnittelu
- Laitevalinnat ja erikoisuudet

#### Rakennusvaihe

- Urakoitsijoiden tehtävät ja vastuut
- Urakoitsijan toiminnan- ja laadunvarmistus
- Rakennusvaiheen toiminnanvarmistus
- IMS-järjestelmään asennetut laitteet ja niiden vastaavuus
- Suunnitelmamuutokset ja revisiot
- Suunnittelijan resurssit rakennusvaiheessa

#### Luovutusvaihe

- Toimintakokeet
- Rakennusautomaation kaaviot ja toimintaselostukset
- IMS-peltien asennus, konfigurointi ja toiminta
- Ilmanvaihtojärjestelmän toiminnan testaus ja dokumentointi
- Käyttöönotto ja käytönopastus

#### Luovutuksen ja takuuajan toiminnanvarmistus

- Jälkiseuranta ja analysointi
- Rakennusautomaatioon liittyvät tarkistukset
- Takuuajan tarkastukset
- Jatkuva toiminnanvarmistus KPI
- Jälkiseuranta ja analysointi
- Energiankulutus ja sisäilmasto
- Jatkuvan toiminnanvarmistuksen vastuuhenkilö ja vastuut
- Henkilöstömuutoksiin liittyvä tiedon/osaamisensiirto

#### 4.1.3 Koekohteiden kuvaus

Koekohteina oli seitsemän uutta rakennusta, jotka oli varustettu IMS-järjestelmällä. Kaikki rakennukset yhtä lukuun ottamatta olivat käytössä. Yhdessä rakennuksista oli juuri käyttöönotettu IMS-järjestelmä. Kaikissa muissa rakennuksissa oli noin 2-5 vuoden kokemus IMS-järjestelmän toiminnasta ja sen luomista sisäolosuhteista. Pääosin kaikki rakennukset olivat koulurakennuksia paitsi yksi juuri käyttöönotettu toimistorakennus. Tiedot rakennuksista on koottu Taulukkoon 4.1.



Taulukko 4.1 Tutkittujen koekohteiden kuvaus

Koekohteen numero	Rakennuksen tyyppi	Rakennushankkeen tyyppi	Rakennushankkeen tilanne	Kerrosala (noin) m <sup>2</sup>
1	Koulurakennus	Uudishanke	Rakennus käytössä	9000m <sup>2</sup>
2	Toimistorakennus	Uudishanke	Käyttöönotto tehty, ei vielä käytössä	7000m <sup>2</sup>
3	Koulurakennus	Saneeraushanke	Rakennus käytössä	6000m <sup>2</sup>
4	Koulurakennus	Uudishanke	Rakennus käytössä	5000m <sup>2</sup>
5	Koulurakennus	Uudishanke	Rakennus käytössä	5000m <sup>2</sup>
6	Koulurakennus	Uudishanke	Rakennus käytössä	2500m <sup>2</sup>
7	Päiväkotirakennus	Uudishanke	Rakennus käytössä	2500m <sup>2</sup>

## 4.2 Tulokset

Seuraavissa kappaleissa on esitetty koekohteina toimivien IMS-järjestelmillä varustettujen rakennusten kohdekäyntien ja haastattelujen tulokset liittyen IMS-järjestelmien toiminnanvarmistukseen kohteissa.

### 4.2.1 Eri koekohteiden toteutusmuoto

IMS-järjestelmät olivat kaikissa koekohteissa kanavapaineista riippumattomat, jolloin IMS-peltejä käytettiin joka tilassa tulossa ja poistossa. Ilmanvaihtokoneella oli puhaltimen painesäätö. Koekohteiden IMS-järjestelmät olivat toteutukseltaan erilaisia. Pääosa järjestelmistä oli toteutettu pääurakan yhteydessä ja IMS-järjestelmä toimitus oli pilkottu. Myös muita urakkamuotoja oli käytetty. Urakkamuodolla ei kuitenkaan havaittu olevan merkitystä IMS-järjestelmän toiminnanvarmistukseen koekohteessa. Enemmän havaittiin IMS-järjestelmäosaamisen tärkeys onnistuneissa hankkeissa. Myös kokonaisvastuun puuttuminen näkyi koekohteissa esiin tulleissa IMS-järjestelmien ongelmien ratkaisuisissa hankaluutena, ongelmien ratkaisun venymisenä ja rakennuksen käytön aikana järjestelmän ylläpidon hankaluutena. Eri koekohteiden toteutusmuodot on koottu Taulukkoon 4.2. Toinen esiinnoussut havainto IMS-järjestelmien toteutuksesta oli laitevalmistajilta saatu tuki järjestelmien onnistuneeseen toteutukseen ja toimintaan kohteissa. Haastattelujen perusteella IMS-järjestelmien toteutus, joissa sekä järjestelmän komponentit että automaatio tulivat samalta toimittajalta, onnistui keskimäärin paremmin.

Taulukko 4.2 Tarpeenmukaisen IMS-järjestelmien toteutusmuoto ja tyyppi koekohteissa

Koekohteen numero	Rakennuksen tyyppi	IMS-järjestelmän toteutusmuoto	IMS-järjestelmän tyyppi
1	Koulurakennus	Pääurakka, pilkottu IMS-järjestelmän toimitus	IMS-pellit tiloissa tulossa ja poistossa, painesäätö IV-koneella, puhallinkovektorit, ei vyöhykepeltejä
2	Toimistorakennus	Pääurakka, pilkottu IMS-järjestelmän toimitus	IMS-pellit tiloissa tulossa ja poistossa, painesäätö kerroskohtaisilla IV-koneilla, säteilypaneelit, ei vyöhykepeltejä
3	Koulurakennus	Pääurakka, pilkottu IMS-järjestelmän toimitus	IMS-pellit tiloissa tulossa ja poistossa, painesäätö IV-koneella, tilakohtaisia vakioilmavirtapeltejä yleisiin tiloihin
4	Koulurakennus	Pääurakka, IMS-järjestelmän kokonaistoimitus ilman automaatiota	IMS-pellit tiloissa tulossa ja poistossa, painesäätö IV-koneella, vyöhykepellit
5	Koulurakennus	Allianssiurakka, IMS-järjestelmän kokonaistoimitus automaatiolla, kokonaisvastuu IV-urakoitsijalla	IMS-pellit tiloissa tulossa ja poistossa, painesäätö IV-koneella, säteilypaneelit, vyöhykepellit
6	Koulurakennus	Pääurakka, IMS-järjestelmän kokonaistoimitus automaatiolla, kokonaisvastuu IV-urakoitsijalla	IMS-pellit tiloissa tulossa ja poistossa, painesäätö IV-koneella
7	Päiväkotirakennus	KVR rakennusurakoitsija, IMS-järjestelmän kokonaistoimitus automaatiolla, kokonaisvastuu IV-urakoitsijalla	IMS-pellit tiloissa tulossa ja poistossa, painesäätö IV-koneella

#### 4.2.2 Toiminnanvarmistusprosessin onnistuminen

Arvio IMS-järjestelmän toiminnanvarmistusprosessin onnistumisesta koekohteissa on esitetty Taulukossa 4.3. Samoin Taulukossa 4.4 on esitetty haastatteluissa esiin tulleet asiat IMS-järjestelmän toiminnasta. Haasteena oli koekohdekäyntien osalta haastateltavien tavoitettavuus, jolloin haastateltavat olivat esimerkiksi usein pääosin rakennuksen teknisen ylläpidon ihmisiä ja rakennuttajan edustajia. Kaikissa kohteissa ei saatu suunnittelu- ja vastaanottovaiheen henkilöitä paikalle. Tällöin aivan kattavaa kuvaa eri rakentamisen ja käytön prosessien asioista IMS-järjestelmän toteutukseen, toiminnanvarmistukseen ja toimintaan liittyen. Koekohteiden IMS-järjestelmien ja olosuhteiden mittausdataa saatiin vain osittain joistain kohteista, jolloin järjestelmän todellista toimintaa ei pystytty arvioimaan tämän projektin puitteissa.

Taulukko 4.3 Arvio IMS-järjestelmän toiminnanvarmistusprosessin toiminnasta koekohteissa

Koekohteen numero	Arvio toiminnanvarmistusprosessin toiminnasta
1	Suunnitteluvaiheen toiminnanvarmistuksessa haasteita (sekaannuksia IMS peltien koodeissa, joka kumuloitui aina käyttöön asti). Käyttöön otossa toimintakokeet tehty puutteellisesti (vain IMS-peltien toimintatarkistus sekä maksi-ilmavirtamoodin ilmavirtojen mittausta). Ei nimettyä toiminnanvarmistus vastaavaa IMS-järjestelmälle. Ei jälkiseurantaa järjestelmän toiminnasta (huonekohtaista trendiseurantaa ei ollut). Rakennusvaiheessa merkittävä osa IMS-pelleistä jouduttu vaihtamaan. Tiedonsiirto suunnittelu-rakennusvaiheelta käyttövaiheelle puutteellinen (samoin jos käyttövaiheessa vaihtuu henkilöstöä ei prosessia koulutukseen).
2	Ei nimettyä toiminnanvarmistus vastaavaa IMS-järjestelmälle. Toiminnanvarmistus suunnittelu- ja rakennusvaiheessa sekä käyttöön otossa toimi kuitenkin hyvin (kokenut suunnittelija, yhteydenpito suunnittelijan ja urakoitsijan välillä sekä huolelliset asennustarkastukset). Erillinen tilaajan haluama säätö ja mittausurakka käyttöön otossa (loppukiire hankala). Suurin huoli käyttövaiheen asiantuntemus. Trendiseuranta on, mutta ei tarkkaa toiminnan varmistussuunnitelmaa (LEED Platinan kriteerit).
3	Suunnitteluvaiheen toiminnanvarmistuksessa haasteita (saneerauskohteeseen liittyvä haaste). Käyttöön otossa toimintakokeet tehty puutteellisesti (vain IMS-peltien mitattujen ilmavirtojen tarkastus näytöltä). Ei nimettyä toiminnanvarmistus vastaavaa IMS-järjestelmälle. Ei jälkiseurantaa järjestelmän toiminnasta (huonekohtaista trendiseurantaa ei ollut). Tiedonsiirto jos käyttövaiheessa vaihtuu henkilöstöä, ei prosessia koulutukseen.
4	Rakennusvaiheessa toiminnanvarmistuksessa haasteita (suojaetäisyydet jätetty huomiotta paikoin). Käyttöön otossa toimintakokeet tehty puutteellisesti (vain IMS-peltien mitattujen ilmavirtojen tarkastus näytöltä ja tarvittaessa tarkempi tarkistus). Ei nimettyä toiminnanvarmistus vastaavaa IMS-järjestelmälle. Ei systemaattista jälkiseurantaa järjestelmän toiminnasta. Tiedonsiirto suunnittelu-rakennusvaiheelta käyttövaiheelle puutteellinen ja lisäksi käyttöönotto vaiheessa vastuuongelmia eri urakoitsijoiden kesken ja tiedonkulku hankalaa.
5	Ei nimettyä toiminnanvarmistus vastaavaa IMS-järjestelmälle. Toiminnanvarmistus suunnittelu- ja rakennusvaiheessa sekä käyttöön otossa toimi hyvin laitetoimittajan tuen vuoksi (kokonaisjärjestelmätoimitus, vaikka virallinen vastuu urakoitsijalla). Ei jälkiseurantaa järjestelmän toiminnasta (trendiseurantamahdollisuus tiloista, mutta sitä ei seurata).
6	Ei nimettyä toiminnanvarmistus vastaavaa IMS-järjestelmälle. Toiminnanvarmistus suunnittelu- ja rakennusvaiheessa sekä käyttöön otossa toimi hyvin laitetoimittajan tuen vuoksi (kokonaisjärjestelmätoimitus, vaikka virallinen vastuu urakoitsijalla). Ei jälkiseurantaa järjestelmän toiminnasta (trendiseurantamahdollisuutta tiloista ei ollut kiinteistön omistussuhteiden vuoksi käyttöhenkilöstöllä).
7	Ei nimettyä toiminnanvarmistus vastaavaa IMS-järjestelmälle. Toiminnanvarmistus suunnittelu- ja rakennusvaiheessa sekä käyttöön otossa toimi hyvin laitetoimittajan tuen vuoksi (kokonaisjärjestelmätoimitus, vaikka virallinen vastuu urakoitsijalla). Ei jälkiseurantaa järjestelmän toiminnasta (trendiseurantamahdollisuus tiloista, mutta sitä ei seurata).

Taulukko 4.4 Arvio IMS-järjestelmän toiminnasta koekohteissa

Koekohteen numero	Arvio IMS-järjestelmän toiminnasta
1	Haastattelujen perusteella järjestelmä toimii niin kuin pitää, vaikka IMS-peltien koodit osin sekaisin. Käyttäjälitukset huonelämpötilaan liittyviä johtuen puutteellisesta jäädytyksestä/kuivauksesta. IMS-järjestelmä osittain maksimi-ilmavirtakäytössä ja muutokset menossa täyteen IMS-toimintaan.
2	Haastattelujen perusteella järjestelmä toimii niin kuin pitää (käyttöajan kokemusta ei ollut vielä). Joitain pieniä muutoksia ja haasteita, jotka korjattu rakennusvaiheessa, osin liittyen muuntojoustavuuden toimintaan tilojen tulevissa todellisissa käytöissä. Uusi, lupaava automaatiojärjestelmä, mutta josta ei vielä kokemusta käytännön toiminnanvarmistuksessa.
3	Haastattelujen perusteella järjestelmä toimii niin kuin pitää (huolimatta siitä, että maksimi-ilmavirrat pienemmät kuin suunnitellut, olosuhteet ok). Vakioilmavirtasäädön takana olleissa tiloissa oli maksimi-ilmavirta, vaikka käyttö vähäistä.
4	Haastattelujen perusteella järjestelmä toimii niin kuin pitää eikä ole havaittuja puutteita. Maksimi-ilmavirralla järjestelmä toimi hyvin, mutta IMS-toiminnassa ilmeni aiemmin ongelmia, jotka ratkesivat vasta laitetoimittajan avulla (ongelmien taustalla rakennuksen tiiveys).
5	Haastattelujen perusteella järjestelmä toimii niin kuin pitää eikä ole havaittuja puutteita.
6	Haastattelujen perusteella järjestelmä toimii niin kuin pitää eikä ole havaittuja puutteita.
7	Haastattelujen perusteella järjestelmä toimii niin kuin pitää eikä ole havaittuja puutteita.

Tärkeimmät näkökohdat toiminnanvarmistusprosessin onnistumisesta koekohteissa arvioitiin tulleen kuitenkin esille. Tärkein huomio toiminnanvarmistuksesta oli kaikissa kohteissa nimetty toiminnanvarmistusvastaavan puuttuminen. Samoin toiminnanvarmistus miellettiin kuuluvan IMS-järjestelmän käyttöönottovaiheeseen, vaikka sen tulisi ulottua rakennuksen suunnittelun, rakentamisen ja käytön prosessien ajalle.

### 4.3 Toimivat ja kehitettävät prosessivaiheet

Tutkimuksessa tehtyjen kirjallisuuskatsauksen ja koekohtetutkimuksen perusteella on löydetty seuraavassa esitetyt IMS-järjestelmien toiminnanvarmistuksen kannalta toimivat ja kehitettävät prosessivaiheet.

Kokonaiskuvan selvittämiseksi koekohteiden tutkimustuloksia verrattiin tutkimuksen ensimmäisessä vaiheessa tehtyyn kirjallisuuskatsauksen Taulukossa 4.5. Tätä kautta kirjallisuuskatsauksen pohjalta laadittiin mittarit (Taulukko 4.5 vasen sarake), johon koekohteita peilattiin.

Taulukko 4.5 Kirjallisuuskatsauksen ja koekohdehaastattelujen analyysien vertailu

Kirjallisuuskatsauksen tulokset tarvittavista parannuksista IMS-järjestelmiin mittareina koekohteille	Koekohdehaastattelujen ja analyysin vertailu kirjallisuuskatsaukseen
Nykyiset prosessit suunnittelussa, käyttöönotossa ja kunnossapidossa eivät takaa korkeaa suorituskykyä, näitä tulisi parantaa	Tämä vahvistui varsinkin siinä, ettei toiminnan varmistusprosessia rakennusprosessin vaiheiden läpi ollut.
Suunnittelijoiden, urakoitsijoiden ja kunnossapito henkilöstön koulutuksen parantaminen	Tätä tarvitaan koekohteiden perusteella, toiminnanvarmistusvastaullinen auttaa sitä, suurin tarve hoitaa se käyttöhenkilöstön kohdalla.
Kunnolla toteutettu suunnittelu keskittyen vaatimuksiin	Tämä oli pääosin kunnossa koekohteissa, muuntojoustavuudessa pidettiin ne rajat, jotka hankkeessa oli sovittu
Päivitetyt ja kiinteistökohtaiset dokumentit	Tässä on parantamista, erityisesti suunnitelmien yhteensovitus. Tätä osuutta ei kuitenkaan käyty koekohteissa tarkkaan läpi.
Perusteelliset käyttöönototestit ennen rakennuksen käyttöönottoa	Testit oli tehty kaikissa koekohteissa, mutta useissa niitä ei ollut tehty riittävän yksityiskohtaisesti.
Parannetut käyttöönotto- ja kunnossapitoprosessit/sopimukset	Tämä oli kaikissa koekohteissa puutteellista, ja tätä tulisi kehittää.
Hyvin suunnitellun rakennusautomaatiojärjestelmän hyödyntäminen jatkuvassa seurannassa ja varmatoiminen ohjausjärjestelmä	Tämä oli melkein kaikissa puutteellista, jos monitorointi oli mahdollista tiloista, niin sen hyödyntämisestä toiminnanvarmistukseen ei ollut prosessia
Kunnossapito henkilöstön arvostuksen ja motivaation parantaminen IMS-järjestelmistä	Tähän vaikutti käyttöhenkilöstön osaaminen (IMS-järjestelmä osaaminen oli puutteellista sekä samoin toiminnanvarmistus ei ollut systemaattista)
Säännölliset tarkastukset ja uusintakäytönnotot	Takuuaikana kohteissa tehtiin tarkastuksia, mutta käyttöaikana missään koekohteessa ei ollut prosessia toiminnanvarmistustarkastuksiin.

IMS-järjestelmien toiminnanvarmistusprosessin kehitystarpeet on seuraavassa koottu rakentamisen ja rakennuksen käytön prosessivaiheittain.

#### Hankesuunnittelu

- Toiminnanvarmistusvastaavan valinta ja pätevyys arviointi
- Tilajan tavoitteet ja suunnitteluperusteet
- Toiminnanvarmistuksen tehtävien määrittely ja vastuuhenkilöiden osuus
- Lähtötietojen varmistaminen hankkeen toteutusta varten
- Muuntojoustavuus ja vyöhykejako
- Urakkamuodon valinta vastuukysymykset huomioiden

## Suunnittelu

- Tiedonsiirto suunnittelijoiden välillä (mm. IV – AU suunnittelu)
- Laitteiden valinnat ja yhteensopivuuden varmistaminen
- Kanaviston symmetria ja toiminnanvarmistaminen suunnitteluvaiheessa
- Päivitetty suunnitteludokumentaatio helposti saatavilla eri prosessin vaiheissa

## Rakennusvaihe

- Urakoitsijan vastuuhenkilöt, joilla tarvittava IMS-järjestelmäosaaminen
- Laitteiston toteutus suunnitelmien mukaisesti huomioiden IMS-järjestelmän toiminnanvarmistus
- Laitteiden ja asennusten hyväksynnät
- Yhteistyö suunnittelijoiden kanssa

## Vastaanotto

- Riittävän laajat testit (ei vain maksimi-ilmavirtatilanteet tai vain näytöltä)
- Kattava dokumentointi kaikista suoritetuista testeistä
- Automaatiojärjestelmän tarkastus säännöllisen toiminnanvarmistuksen kannalta käyttövaiheessa
- Laaja käytönopastus toteutettava osaavan henkilön toimesta

## Takuuaika/käyttövaihe

- Säännölliset toimivuustarkastelut ja proseduurit takuuajan jälkeen
- Tilojen olosuhteiden ja järjestelmän toiminnan trendiseuranta
- Teknisen käyttöhenkilöstön järjestelmäosaaminen ylläpidettävä mm. henkilöstövaihdoksissa
- Jatkuva toiminnanvarmistus ja jälkiseuranta pakolliseksi IMS-järjestelmille

Yhteenvedona toiminnanvarmistuksen kehitykseen IMS järjestelmissä tarvitaan seuraavia toimenpiteitä:

- Ratkaisumalleja
  - Toiminnanvarmistukseen osaava toiminnanvarmistusvastaava koko hankkeen ajaksi
  - Käytönaikainen säännöllinen toiminnanvarmistus koko rakennuksen käyttöajalle
  - Käyttöhenkilöstön osaamisen parantaminen ja toiminnanvarmistusroolin selkeytys
- Rakennusprosessin alusta rakennuksen käyttöön asti ulottuvan toiminnanvarmistuksen hyödyt tulisi saattaa paremmin alan tietoon
- Tilaajan ymmärrys toiminnanvarmistuksen kannattavuudesta
  - Toiminnanvarmistuksen kustannus pieni verrattuna tarpeenmukaisen ilmanvaihtojärjestelmän elinkaaren aikana tuotettuihin säästöihin ja toimivaan sisäilmastoon rakennuksessa.
- Tiedonkulku ja yhteistyö tilaajien, valvojen, laitevalmistajien, suunnittelijoiden, urakoitsijoiden ja käyttöhenkilöstön välillä erittäin tärkeää

## 5. Toiminnanvarmistusprosessin kehitysehdotukset

Tutkimuksen perusteella hybridilämmitys- ja IMS-järjestelmät toimivat keskimäärin hyvin, mutta niiden toiminnanvarmistusprosesseissa on selkeitä kehitystarpeita. Suomessa toiminnanvarmistus yhdistetään usein kohteen testaus- ja vastaanottovaiheisiin, vaikka kyseessä on koko hankkeen elinkaaren kattava toimenpide. Erityisesti takuu-/käyttövaiheen toiminnanvarmistukseen ja käytönaikaiseen järjestelmän toiminnan seurantaan tulisi panostaa enemmän. Lisäksi selkeän toiminnanvarmistussuunnitelman ja nimetyn toiminnanvarmistusvastaavan puuttumiset johtavat monesti siihen, että jokin tärkeä osio jää huomioimatta. Alla on listattu tutkimuksessa tehtyjen havaintojen pohjalta molemmille tarkastelluille järjestelmätyypeille yhteisiä toimenpiteitä, joilla toiminnanvarmistusprosessia saataisiin tulevaisuudessa kehitettyä ja monimutkaisia järjestelmät toimimaan vieläkin paremmin.

- Toiminnanvarmistusprosessin laajentaminen kattamaan kaikki hankevaiheet hankesuunnittelusta käytönaikaiseen jatkuvaan toiminnanvarmistukseen

Hankesuunnitteluvaihe:

- Pätevän toiminnanvarmistusvastaavan (pätevyys arvioitu) nimeäminen hankkeelle
- Toiminnanvarmistusprosessin huolellinen suunnittelu ja siihen liittyvien vastuiden jako

Suunnitteluvaihe:

- Tiedonkulun varmistaminen eri suunnittelijoiden välillä
- Laitteistovalinnat siten, että laitteiden yhteensopivuus on varmistettu

Rakentamisvaihe:

- Kokonaisvastuullisen urakoitsijan ja vastuuhenkilöiden nimeäminen
- Yhteistyö ja kommunikaatio suunnittelijoiden kanssa
- Laitteiston toteutus suunnitelmien mukaisesti
- Laitteistojen ja asennusten hyväksynnät yhteensopivuus huomioiden

Vastaanotto:

- Kattava järjestelmien testaus ja dokumentointi kaikista suoritetuista testeistä
- Järjestelmän käytönopastus osaavan henkilön toimesta

Takuuaika/käyttövaihe:

- Perinteisen kahden vuoden takuun laajentaminen toiminnanvarmistuksen osalta viiteen vuoteen
- Toimivuustarkastelujen jatkaminen myös takuuajan jälkeen

- Järjestelmän jatkuva toiminnanvarmistus ja säännöllinen jälkiseuranta pakolliseksi kaikille hybridilämmitys- ja IMS-järjestelmille

Edellä esitettyjen toimenpiteiden avulla pystytään varmistamaan, että monimutkainen järjestelmä toimii käyttöönoton jälkeen suunnitellulla tavalla. Vaikka useat toimenpiteistä ovat työläitä ja vaativat rahaa, huolellinen toiminnanvarmistus maksaa itsensä helposti takaisin järjestelmän käytön aikana säästyneissä kuluissa. Niinpä järjestelmien tilaajille toiminnanvarmistusprosessin tärkeyttä tulisi markkinoida nykyistä enemmän ja tuoda sitä esille nimenomaan investointina, johon laitetut rahat saadaan järjestelmän ollessa käytössä moninkertaisina takaisin. Lisäksi hankkeissa toiminnanvarmistuksen pohjana usein olevia RT-kortteja 10-11301 ja 10-11302 tulisi päivittää kattamaan kaikki hankevaiheet sekä ottamaan huomioon erityisen vaativien hankkeiden, kuten hybridilämmitysjärjestelmien, erityispiirteet.



## 6. Johtopäätökset

Tässä hankkeessa tarkasteltiin tarpeenmukaisten ilmamääräsäätelysten (IMS)-ilmanvaihtojärjestelmien sekä hybridilämmitysjärjestelmien toiminnanvarmistusprosessien toteutusta ja järjestelmien toimintaa käymällä koekohteissa sekä haastattelemalla hankkeiden avainhenkilöitä. Johtopäätöksenä voidaan todeta, että järjestelmät toimivat ainakin tutkimuksessa olleen otoksen perusteella keskimäärin hyvin, mutta toiminnanvarmistusprosessissa on selkeitä kehitystarpeita.

Suomessa toiminnanvarmistus mielletään usein osaksi testaus- ja vastaanottovaiheita, mutta sen tulisi kattaa kaikki hankevaiheet hankesuunnittelusta käytönaikaiseen jatkuvaan toiminnanvarmistukseen. Valtaosassa tutkimuksen koekohteista toiminnanvarmistuksen pohjana oli käytetty RT-kortteja 10-11301 ja 10-11302, joten kyseisten korttien päivitys kattamaan koko hanke alusta loppuun kansainvälisten ASHRAE:n ja REHVA:n ohjeistusten mukaisesti voisi tuoda tilanteeseen parannusta. Etenkin käyttövaiheen toiminnanvarmistuksessa ja järjestelmien toiminnan jatkuvassa seurannassa oli koekohteissa puutteita. Useimmissa kohteissa jatkuvalla seurannalla oli mittaroinnin puolesta hyvät edellytykset, mutta seuranta ei silti tehty. Sekä IMS- että hybridilämmitysjärjestelmät voivat usein toimia tilojen käyttäjän näkökulmasta moitteettomasti ja tuottaa halutunlaiset olosuhteet, mutta energiatehokkuus voi poiketa merkittävästi suunnitellusta. Ilman järjestelmien teknisen toiminnan ja energiavirtojen jatkuvaa seuranta kalliin investoinnin taloudelliset ja ympäristölliset hyödyt voivat jäädä saavuttamatta.

Toinen merkittävä havainto oli useassa hankkeessa nimetyin toiminnanvarmistusvastaavan puuttuminen ja ylipäänsä epäselvät vastuunjaot toiminnanvarmistukseen liittyen. Tähän pitäisi niin ikään kiinnittää huomiota, sillä monimutkaisten järjestelmien ollessa kyseessä tärkeitä yksityiskohtia saattaa helposti jäädä huomaamatta, mikäli toiminnanvarmistusta ei tehdä kullekin osa-alueelle huolellisesti. Haasteita toiminnanvarmistusvastaavan nimeämiseen tuo se, että kyseisen henkilön pitäisi tuntea järjestelmän toiminta läpikotaisin. Esimerkiksi hybridilämmitysjärjestelmien asiantuntijoista on huutava pula, sillä aiheeseen liittyvää koulutusta ei juuri ole saatavilla ja useimmat alan ekspertit ovat itseoppineita.

Loppukaneettina voidaan todeta, että vaikka toiminnanvarmistusprosessi olikin osassa koekohteita puutteellinen, itse järjestelmät toimivat haastateltavien ihmisten näkemysten perusteella paria poikkeusta lukuun ottamatta hyvin. Tähän ei kuitenkaan ole syytä tuudittautua. Havaintoon saattoi nimittäin vaikuttaa se, että koekohteet oli joko rakennettu tai energiaremontoitu aivan lähiaikoina, joten järjestelmän toimintaa haittaavia vikoja ja häiriöitä ei välttämättä vielä ollut ilmennyt. Laitevikojen mahdollisuus kasvaa iän myötä ja lisäksi esimerkiksi maalämpöön perustuvissa hybridijärjestelmissä virheet maalämpökentän tuottopotentiaalain laskennassa konkretisoituvat vasta järjestelmien käyttöiän loppupäässä. Lisäksi kattavaa käytönaikaista toiminnanvarmistusta ei

useimmissa kohteissa ollut, mikä vaikeuttaa etenkin pienten toimintahäiriöiden havaitsemista. Oikeaoppisella käytönajan toiminnanvarmistuksella kaikki häiriötilanteet pystytään havaitsemaan hyvissä ajoin ja korjausliikkeet tekemään ennen kuin järjestelmän toimimattomuudesta aiheutuu turhia kuluja ja mahdollisia ympäristörasituksia.

# Lähdeluettelo

- Alanko, A. (2020). Tarpeenmukaisen ilmanvaihdon käytännön haasteita kenttätöiden näkökulmasta. Sisäilmastoseminaari 2020. Sisäilmayhdistys raportti 38, 207-212. <https://www.sisailmayhdistys.fi/content/download/4691/30364/>
- Ani, G. (2019). Toiminnanvarmistus keskeisenä osana taloteknistä valvontaa ja laadunvarmistusprosessia. Diplomityö Aalto-yliopisto.
- ASHRAE. (2018). Commissioning Process for Buildings and Systems, ANSI/ASHRAE/IES Standard 202-2018.
- ASHRAE. (2019). The Commissioning Process, ASHRAE Guideline 0-2019.
- European Commission (2021) Recommendation 2021/1749 on Energy Efficiency First: from principles to practice — Guidelines and examples for its implementation in decision-making in the energy sector and beyond. <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=CELEX%3A32021H1749>
- Halvarsson, J. (2012). Occupancy Pattern in Office Buildings: Consequences for HVAC system design and operation. Norwegian University of Science and Technology, Faculty of Engineering Science and Technology, Department of Energy and Process Engineering. Doctoral Theses at NTNU, 37. <http://hdl.handle.net/11250/234598>
- Li, B., Cai, W. (2022). A novel CO<sub>2</sub>-based demand-controlled ventilation strategy to limit the spread of COVID-19 in the indoor environment. *Build. Environ.* 219, 109232. <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2022.109232>
- Merema, B., Delwati, M., Sourbron, M., Breesch, H. (2018). Demand controlled ventilation (DCV) in school and office buildings: Lessons learnt from case studies. *Energy Build.* 172, 349–360. <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2018.04.065>
- Mustakallio, P. (Ed.) (2023). Demand Controlled Ventilation – Current situation, challenges, and needed remedies. Position paper by Nordic Ventilation Group. <http://www.scanvac.eu/demand-controlled-ventilation.html>
- Mysen, M., Berntsen, S., Nafstad, P., Schild, PG. (2005). Occupancy density and benefits of demand-controlled ventilation in Norwegian primary schools. *Energy and Buildings* 37 (12), 1234-1240. <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2005.01.003>
- Mysen, M., Schild, PG., Cablé, A. (2014). Demand-controlled ventilation - requirements and commissioning. Guidebook on Well-Functioning and Energy-Optimal DCV.
- Pietiläinen, J., Kauppinen, T., Kovanen, K., Nykänen, V., Nyman, M., Paiho, S., Keränen, H. (2007). *ToVa-käsikirja, VTT*.
- Rakennustietosäätiö. (2018a). Talotekniikan laadunvarmistus- ja vastaanottomenettely, RT 10-11301.
- Rakennustietosäätiö. (2018b). Talotekniikan laadunvarmistus- ja vastaanottomenettely, tehtävät ja dokumentointi, RT 10-11302.
- REHVA. (2019). REHVA Guidebook No. 27 - HVAC Commissioning Process.
- Zhao, W., Kilpeläinen, S., Bask, W., Lestinen, S., Kosonen, R. (2022). Operational Challenges of Modern Demand-Control Ventilation Systems: A Field Study. *Buildings* 12, no. 3: 378. <https://doi.org/10.3390/buildings12030378>

# Liite 1. Hybridikohteiden haastattelukysymykset

Tässä liitteessä on esitetty hybridilämmityskohteiden edustajille pidettyjen haastattelujen tueksi laadittu tarkastuslista kokonaisuudessaan.

## TATE 2030 - Hybridijärjestelmien toiminnanvarmistuksen kehittäminen

Tarkastuslistan tekijä: Johannes Simola

Versio: 3/7.3.2023

Päivämäärä:		
Kohde:		
Sijainti:		
Haastateltavat henkilöt:		
Vaihe	Ohjaavat kysymykset	Yhteenvedo ja muistiinpanot kohteessa
Rakennuksen tyyppi ja käyttötarkoitus	Asuinrakennus, koulu, toimitilarakennus, kauppakeskus? Uudiskohde vai saneerauskohde?	
Tunnusluvut	Bruttoala [m <sup>2</sup> ], huoneistoala[m <sup>2</sup> ], tilavuus[m <sup>3</sup> ]?	
Hankesuunnitteluvaihe		
Energiahankkeen tavoite	Kaukolämpöenergian vähentäminen? Sähkön kulutuksen vähentäminen? CO <sub>2</sub> päästöjen vähentäminen?	
Suunnitteluryhmä	Hankkeen energiasuunnittelusta vastaavat henkilöt? Tilaajaorganisaation osallistuminen, energia-asiantuntija? Osallistuuko laitetoimitaja suunnitteluun? Vastuualueiden rajapinnat LPU,PU,AU?	
Lähtötiedot hanketta varten	Energian aikaisemmat kulutustiedot? Aikaisemmat suunnitelmat?	

	Käytetäänkö suunnittelun hyödyksi aikaisempia kulutustietoja vai simuloidaanko energiankulutusta? Kulutusennuste/ Energiasimulointi?	
Hybridijärjestelmän malli	Kaukolämpö/maalämpö, Maalämpö/sähkö, Kaukolämpö/PILP? Lauhdelämpö? Vapaajäähdytys? Jokin muu? Käytettävät lämmönlähteet?	
Esitutkimukset	TRT-mittaus energiakaivokentän mitoitusta sekä simulointia varten? Maaperän ominaisuudet? Lauhdelämpötilojen määrittäminen? Voidaanko kaivokenttää elvyttää kesällä?	
Kannattavuuslaskelmat	Elinkaaren kustannukset? Investoinnin kannattavuus? Inflaation ja korkojen vaikutus?	
Toiminnanvarmistus-suunnitelma	Noudatetaanko esimerkiksi Talotekniikan laadunvarmistus- ja vastaanottomenettelyä, RT10-11301 sekä 11302? ASHRAE Commissioning process? Riskienhallintasuunnitelma?	
Ympäristöluokitukset	LEED, BREEAM, RTS?	
Ympäristösertifikaattien vaatima toiminnanvarmistus	Miten toteutettu? Kuka vastuussa?	
Suunnitteluvaihe		
Suunnittelun vastuuhenkilöt	Koulutus ja kokemus vastaavista hankkeista?	
Suunnittelussa käytetyt ohjelmistot ja työkalut	Esim. MAGICAD, CADMATIC, IDA ICE, COMSOL, EED? Jokin muu?	
	Suunnittelussa apuna käytetyt ohjeistukset ja standardit? K1, SFS-standardit, YM-asetukset, RT-Kortisto, ASHRAE?	
	Onko energiakaivokenttä simuloitu? Onko rakennuksen energiankulutus simulointu? Onko kohde tietomallinnettu?	

Järjestelmän mitoitussuhde	Kuinka suuri osa huipputehontarpeesta tuotetaan lämpöpumpuilla? Kuinka paljon vara-lämmönlähteellä?	
	Kuinka suuri osa vuosittaisesta lämmitysenergian kulutuksesta tuotetaan lämpöpumpulla? Kuinka paljon varalämmönlähteellä?	
Verkoston lämpötilat	Mitoituslämpötilat? Optimoidaanko verkostolämpötiloja parhaan COP:n saavuttamiseksi? Vapaajäähdytys? Esilämmitykset?	
Suunnitelmien tarkastus	Ketkä osallistuneet suunnitelmien tarkastamiseen? Kaukolämpölaitoksen tarkastus? Rakennusvalvonnan tarkastus? Vaadittavat/vaaditut testit?	
Rakennusautomaatio	Automaatiosuunnittelu? Automaatiikan ja laitteiston yhteensovitus ja toiminnanvarmistus? VAK ja LPU välinen tiedonsiirto? Tarvittavat mittaukset jälkiseuranta varten? Toiminnan monitorointi, mitä mitataan ja millä ajanjaksolla talletetaan?	
Laittevalinnat ja erikoisuudet	Laitteiden merkki, malli, varaajien koko? Minkä perusteella mitoitettu?	
Rakennusvaihe		
Urakoitsijan nimi		
Urakoitsijan toiminnan- ja laadunvarmistus	Tehdyt tarkastukset? Työnaikaiset tarkastukset, itselleluovutukset, mittaus- ja säätöpöytäkirjat? Ilmaukset/huuhtelut, nesteiden vahvuudet?	
Rakennusvaiheen toiminnanvarmistus	Toiminnanvarmistusvastaavan tekemät tarkastukset? LVI-valvojan tekemät tarkastukset? LVI-suunnittelijan tarkastukset?	
Laitteisto	Suunniteltujen ja asennettujen laitteiden vastaavuus? Vaihdettujen laitteiden hyväksyntä? Hyväksynnän vastuuhenkilöt?	

Suunnitelmamuutokset ja revisiot	Onko suunnitelmamuutokset huomioitu rakennusvaiheessa? Onko suunnitelmamuutokset saatu työmaan tietoon ajoissa?	
Suunnittelijan resurssit rakennusvaiheessa	Suunnittelijan työmaakäynnit sekä tavoitettavuus rakennusaikana?	
Luovutusvaihe		
Toimintakokeet	Hybridijärjestelmän käyttöönoton tarkastukset? Koekäyttö ja kuormituskokeet? Sähkökatko/Blackout testit? Mittaroinnin tarkastus? Toiminta eri vuodenaikoina?	
Rakennusautomaatio	Säätökaavioiden ja hälytyspisteiden tarkistus? Säätökäyrien toiminta ja ohjaukset? Järjestelmää ohjaavat anturit, anturien sijoitus, toiminta ja testaus? Laiteluettelon tarkastus?	
Järjestelmän toiminnan testaus ja dokumentointi	Onko kaikista tarkastuksista tehty dokumentit?	
Käyttöönotto ja käytönopastus	Onko järjestelmän toiminnasta, seurannasta ja säädöistä annettu koulutus? Kuka pitää käytönopastuksen/opastajan pätevyys? Dokumentointi koulutuksesta/käytönopastuksesta?	
Luovutuksen ja takuuajan toiminnanvarmistus		
Jälkiseuranta ja analysointi	Grafiikat/Etäpalvelu? Mittaroinnin tulosten seuranta? Analysoidaanko tuloksia? Tulosten tallennus? Mitä mitataan ja millä ajanjaksolla tallennetaan?	
Rakennusautomaatio	Säätökaavioiden ja hälytyspisteiden tarkistus? Säätökäyrien toiminta ja ohjaukset? Järjestelmää ohjaavat anturit, anturien sijoitus ja testaus?	
Lämpöpumpun lämpökertoimen/kylmäkertoimen mittaus	Seuranta tai mittaus lämpöpumpun hyötysuhteesta, COP, Mitä COP-lukua tavoitellaan? Toteutuuko tavoiteltu COP?	
Jatkuva toiminnanvarmistus KPI		

Jälkiseuranta ja analysointi	COP, keruupiirien/lauhdelämmön lämpötilat, verkostojen lämpötilat?	
Energiankulutus	Toteutuuko tavoiteltu/suunniteltu/simuloitu energiankulutus? Tulosten analysointi?	
Vastuut	Kenellä vastuu jos laitos ei toimi kuten suunniteltu? Suunnittelija? Urakoitsija? Toiminnanvarmistusvastaava? LVI-Valvoja?	
Jatkuvan toiminnanvarmistuksen vastuuhenkilö?	Kuka vastuussa? Vastuuhenkilön osaaminen ja koulutus? Ketä seuraa järjestelmän toimintaa? Toimivuustarkastelut? Hälytyslokin seuranta?	
Muita vaiheita ja asioita?		



## Liite 2. IMS-kohteiden haastattelukysymykset

Tämän liitteen taulukoissa L2.1-L2.4 on esitetty IMS-järjestelmätutkimuksen koekohteiden haastattelukysymykset jaettuna eri rakentamisen ja käytön prosesseihin.

Taulukko L2.1 Haastattelukysymykset koekohteen perustiedoista ja hankesuunnitteluvaiheesta

Rakennuksen tyyppi ja käyttötarkoitus	Asuinrakennus, koulu, toimitilarakennus, kauppakeskus? Uudis- vai saneerauskohde?
Rakennuksen nykyinen tilanne	Onko rakennus pidempää käytössä, takuuajalla vai ei vielä vastaanottotarkastettu?
Rakennuksen ilmanvaihtojärjestelmän tiedot	Kuinka monta IV-konetta ja niiden ilmamäärät sekä ilmavirtasäätö? VAV-järjestelmän perustiedot?
Hankesuunnitteluvaihe	
VAV(IMS)-järjestelmähankkeen tavoite	Laadukkaan sisäilmaston ja ilmanvaihdon takaaminen? Energiatehokkuuden parantaminen? Energiatuotannon/rakennuksen CO2 päästöjen vähentäminen?
Suunnitteluryhmä	Tilajaorganisaation osallistuminen? Osallistuuko laitetoimittaja suunnitteluun ja onko laitetoimituksessa kokonaisjärjestelmäosuuksia siihen liittyvine automaatioineen (100% RAU ohjattu, laitevalmistajan järjestelmä, miten integroinnit?)
Ilmanvaihtojärjestelmäratkaisu	Vaihtoehtoiset CAV/VAV järjestelmät hankesuunnitteluvaiheessa ja miksi on päädytty valittuun järjestelmään? Ilmavirran kasvattaminen myöhemmin ja vyöhykejaon muuttaminen?
Toiminnanvarmistus-suunnitelma	Noudatetaanko esimerkiksi Talotekniikan laadunvarmistus- ja vastaanottomenettelyä, RT10-11301 sekä 11302? ASHRAE Commissioning process? Joku muu? Riskienhallintasuunnitelma?

Taulukko L2.2 Haastattelukysymykset koekohteen suunnitteluvaiheesta

Suunnitteluvaihe	
Suunnittelun vastuuhenkilöt, tekijät ja tehtävät	Koulutus ja kokemus vastaavista hankkeista erityisesti liittyen VAV-järjestelmään?
Toiminnanvarmistuksen ohjeistukset	RT-Kortisto? ASHRAE? Siltä osin kun liittyvät VAV järjestelmiin
VAV(IMS)-järjestelmän säätö: IV koneella	Ilmavirtojen säätö, miten toteutettu ja kuinka suuri säätöalue? Säädön tarkkuus (ilmavirtojen mittaus massavirtana)? Jos tulopuolella vakioainesäätö, onko se vakio vai optimoitu peltien asennon mukaan? Onko poistopuhaltimen säätö vakioaineohjattu?
VAV(IMS)-järjestelmän säätö: IV kanavistossa/vyöhykkeissä	Käytetäänkö vyöhykepeltejä? Onko vyöhykepellit paine vai ilmavirtapeltejä? Onko vyöhykkeellä vakioilmavirtahuoneita?
VAV(IMS)-järjestelmän säätö: Huoneissa	Ilmavirtojen säätö huoneissa, miten toteutettu ja kuinka suuri säätöalue? Säädön tarkkuus? Säädön portaat (aikataulu, liukuva, portaittain, monta

	moodia)? Minkä antureiden perusteella ilmavirtaa ohjataan huoneissa? Onko heittokuvion min/max ilmamäärätarkastus tehty?
	tulon ja poiston tasapaino? Poisto huoneesta, vyöhykkeestä tai keskitetty? Onko suunniteltu paine-eromittausta vaipan yli?
	Ilma-vesijärjestelmän toimintaperiaate? Säädön periaate?
Suunnitelmien tarkastus	Ketkä osallistuneet suunnitelmien tarkastamiseen? Kuinka hyvin suunnitelmat on tehty rakennuskohtaisesti (ei yleisillä mallikaavioilla)? Rakennusvalvonnan tarkastus (ymmärtävätkö VAV järjestelmiä)? Onko suunnitelmissa esitetty vaadittavat testit ja tarkastukset VAV-järjestelmille?
Käyttövaiheen toiminnan monitoroinnin suunnittelu	Toiminnan monitorointi, suunnitellaanko mitä mitataan ja millä ajanjaksolla talletetaan?
Laittevalinnat ja erikoisuudet	Järjestelmän laitteiden merkit, mallit, onko suunnitelmassa speksattu tarkasti?

Taulukko L2.3 Haastattelukysymykset koekohteen rakennus- ja luovutusvaiheesta

Rakennusvaihe	
Urakoitsijoiden tehtävät ja vastuut	Urakkarajojen poikkeavuus ja selkeys?
Urakoitsijan toiminnan- ja laadunvarmistus	Tehdyt tarkastukset? Työnaikaiset tarkastukset, itselluluovutukset, mitaus- ja säätöpöytäkirjat?
Rakennusvaiheen toiminnanvarmistus	Toiminnanvarmistusvastaavan tekemät tarkastukset? LVI-valvojan tekemät tarkastukset (onko LVI-valvoja ulkopuolinen)? LVI-suunnittelijan tarkastukset?
Laitteisto	Suunniteltujen ja asennettujen laitteiden vastaavuus? Vaihdettujen laitteiden hyväksyntä? Hyväksynnän vastuuhenkilöt?
Suunnitelmamuutokset ja revisiot	Onko suunnitelmamuutokset huomioitu rakennusvaiheessa? Onko suunnitelmamuutokset saatu työmaan tietoon ajoissa?
Suunnittelijan resurssit rakennusvaiheessa	Suunnittelijan työmaakäynnit sekä tavoitettavuus rakennusaikana? Yhteistyö suunnittelijoiden kanssa onko riittävää?
Luovutusvaihe	
Toimintakokeet	VAV-järjestelmän käyttöönoton tarkastukset? Eri ilmavirtatilojen tarkastukset? Palvelualueiden yhteisvaikutusten tarkastus? Sähkökatko/blackout testit? Mittaroinnin tarkastus? Toiminta eri vuodenaikoina?
Rakennusautomaatio (pyydetään kaaviot ja toimintaselostukset)	Säätökaavioiden ja hälytyspisteiden tarkistus? Onko säätökaavioissa järjestelmän asetusarvot? Säätökäyrien toiminta ja ohjaukset? Järjestelmää ohjaavat anturit, anturien sijoitus, toiminta ja testaus (paineanturit kanavistossa, huoneen lämpötila ja CO2 anturit)? Tuloilman lämpötila? Laitteluettelon tarkastus?
VAV(IMS)-peltien asennus, konfigurointi ja toiminta	VAV-peltien konfigurointi väyläohjaukseen ja väylän toiminta, onko tehty oikein ja asetukset tehdas vai paikallisia asetteluja? VAV peltien asennus ja toiminta, onko asennuksissa ollut korjattavaa tai VAV-säädin-toimilaitteissa vikoja?
Ilmanvaihtojärjestelmän toiminnan testaus ja dokumentointi	Onko ilmavirranmittaus- ja säätötyön aloituspalaveri ja suunnitelma tehty sekä työ dokumentoitu sen mukaan? Onko kaikista tarkastuksista tehty dokumentit?
Käyttöönotto ja käytönopastus	Onko järjestelmän toiminnasta, seurannasta ja säädöistä annettu koulutus? Kuka pitää käytönopastuksen/opastajan pätevyys? Dokumentointi koulutuksesta/käytönopastuksesta?

Taulukko L2.4 Haastattelukysymykset koekohteen toiminnanvarmistuksesta luovutusvaiheessa, takuuajana ja jatkuvasti rakennuksen käytön aikana

Luovutuksen ja takuuajan toiminnanvarmistus	
Jälkiseuranta ja analysointi	Grafiikat/Etäpalvelu? Mittaroinnin tulosten seuranta? Analysoidaanko tuloksia? Tulosten tallennus? Mitä mitataan ja millä ajanjaksolla tallennetaan?
Rakennusautomaatio	Säätökaavioiden ja hälytyspisteiden tarkistus? Säätökäyrien toiminta ja ohjaukset? Järjestelmää ohjaavat anturit, anturien sijoitus ja testaus?
Takuuajan tarkastukset	Onko laadittu toimenpideohjelmaa mahdollisten virheiden löytämiseen ja korjaukseen takuuajana?
Jatkuva toiminnanvarmistus KPI	
Jälkiseuranta ja analysointi	Millä tavoilla/indikaattoreilla seurataan, että VAV-järjestelmä toimii oikein eri tiloissa ja IV- konetasolla?
Energiankulutus ja sisäilmasto	Toteutuuko tavoiteltu/suunniteltu/simuloitu energiankulutus ja sisäilmasto rakennuksessa? Tulosten analysointi?
Vastuut	Onko kokemusta käyttövaiheen reklamaatiotilanteista ja niiden vastuunjaosta?
Jatkuvan toiminnanvarmistuksen vastuuhenkilö?	Kuka vastuussa? Vastuuhenkilön osaaminen ja koulutus? Ketä seuraa järjestelmän toimintaa? Toimivuustarkastelut? Hälytyslokin seuranta? Kuinka usein/millä tavoin on tarkoitus tehdä (esim. järjestelmän toiminnan/anturien testaus?)
Henkilöstömuutokset	Miten tieto/osaaminen/koulutus hoidetaan uusille henkilöille