

Tutkimusraportti

HIILINEUTRAALIT ENERGiaratkaisut JA Lämpöpumpputeknologia (HYBE)

**Toimintamalli ja projektitiimin yhteistyö
hybridienergiajärjestelmien toteutuksessa
korjaushankkeissa**

6.2.2026

Kirjoittajat:

Elisabeth Anetjärvi

Janne Hirvonen

Piia Sormunen

Copyright © 2026 Tekijät

Tämä teos on lisensoitu Creative Commons Nimeä 4.0 Kansainvälinen (CC BY 4.0) -lisenssillä. Tarkastele lisenssiä osoitteessa: <https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/deed.fi>

Tampereen yliopisto. Rakennustekniikka. Tutkimusraportti 19

ISBN 978-952-03-4313-2 (verkkojulkaisu)

ISSN 2669-8838 (verkkoaineisto)

Tampere 2026

Tiivistelmä

Hybridienergiajärjestelmät yhdistävät useita energianlähteitä vastatakseen rakennuksen energiantarpeisiin. Hiilineutraalisuustavoitteet, uusiutuvan energian kysynnän kasvu ja energiaomavaraisuuden tarve ovat vauhdittaneet hybridienergiajärjestelmien markkinoiden kasvua. Nopean kasvun myötä on kuitenkin ilmennyt monia haasteita kuten puutteellisesti toimivia järjestelmiä ja epäonnistuneita toteutuksia. Monet korjaushankkeet eivät saavuta asetettuja energiansäästötavoitteita puutteellisen yhteistyön vuoksi hankkeen eri osapuolten välillä.

Tämän tutkimuksen tavoitteena oli kehittää toimintamalli hybridienergiajärjestelmän toteutuksen projektitiimille yhteisten tavoitteiden saavuttamiseksi korjaushankkeessa.

Käytettävät tutkimusmenetelmät olivat kirjallisuusselvitys, asiantuntijahaastattelut ja työpajatyöskentely. Tutkimuksessa kehitettiin toimintamalli, joka tukee projektitiimin yhteistyötä hybridienergiajärjestelmien toteutuksessa erityisesti korjaushankkeissa. Se vastaa tunnistettuihin haasteisiin kuten epäselvään vastuunjakoon, riittämättömään projektitiimin kommunikointiin, järjestelmän puutteelliseen toiminnanvarmistukseen ja takuuajan seurantaan sekä ylläpidon osaamisvajaisiin.

Toimintamallissa korostuvat:

- Yhteisten tavoitteiden, roolien ja vastuiden selkeä määrittely
- Koko projektitiimin osaamisen hyödyntäminen hankkeen eri vaiheissa
- Yhteistoiminnalliset sopimusmallit ja kannustimet osapuolten sitouttamiseksi
- Erillinen viestintäohjeistus projektitiimille
- Toiminnanvarmistusvastaavan roolin korostaminen projektin laadun varmistamiseksi
- Järjestelmän käyttäjien tarvittava osaaminen ja koulutus
- Palautteenantoprosessi ja järjestelmien toiminnan jatkuva kehittäminen

Tutkimus osoitti, että toimintamalli voi parantaa hybridienegiahankkeiden laatua, kustannustehokkuutta ja investointien kannattavuutta sekä tukea riskienhallintaa projektin eri vaiheissa. Vaikka malli on kehitetty korjausrakentamiseen, sen periaatteet ovat sovellettavissa myös uudiskohteisiin. Jatkotoimenpiteenä suositellaan toimintamallin pilotointia oikeassa korjaushankkeessa. Lisäksi tulisi arvioida, kuinka hyvin malli soveltuu eri urakamuotoihin ja rakennustyyppeihin sekä sen kykyä tukea riskienhallintaa hybridienegiahankkeissa. Näiden jatkotoimenpiteiden avulla voidaan varmistaa toimintamallin käytännön toimivuus ja skaalautuvuus erilaisiin rakennushankkeisiin.

Alkusanat

Projekti on toteutettu Hybe- projektin 2022–2026 osaprojektina. Projektin rahoittajina ovat olleet:

Paavo V. Suomisen rahasto
Sähkötekniikan ja energiatehokkuuden edistämiskeskus STEK ry

Yritykset:

Granlund Oy
Ramboll Oy
Senaatti-kiinteistöt
HUS Kiinteistöt Oy
HUS Kiinteistö- ja toimitilapalvelut

Tämän projektin toteutuksesta on vastannut Tampereen yliopiston tutkijaryhmä: projektipäällikkö ja tutkija Elisabeth Anetjärvi, yliopistotutkija Janne Hirvonen ja Associate professor Piia Sormunen. Projektin työpajaan on osallistunut seuraavat henkilöt Tampereen yliopistolta:

Elisabeth Anetjärvi

Piia Sormunen

Janne Hirvonen

Natalia Lastovets

Mohamed Elsayed

Anni Luoto

Kiitos kaikille hankkeeseen osallistuneille.

Tampereella 6.2.2026

Sisällysluettelo

Tiivistelmä.....	4
Sisällysluettelo	6
1. Johdanto	8
1.1. Tutkimuksen tausta ja tavoite	8
1.2. Menetelmät.....	9
2. Kirjallisuuskatsaus.....	10
2.1. Hiilineutraalin tulevaisuuden vaatimukset korjausrakentamiselle	10
2.1.1. Kansallinen perusparannussuunnitelma	10
2.1.2. Energiatehokkuuden vähimmäisvaatimukset	10
2.1.3. Perusparannuspassit ja energiatodistukset.....	11
2.1.4. ISO 50001 Energianhallinta	12
2.2. Projektitiimin yhteistyö korjaushankkeissa	12
2.2.1. Yhteistyön esteet ja kannustimet.....	13
2.2.2. Urakkamuotojen vaikutus yhteistyöhön	13
3.1. Hybridiennergiajärjestelmien toteutus korjaushankkeissa.....	17
3.1.1. Toteutuksen eri vaiheet ja osapuolet.....	17
3.1.2. Toteutuksen haasteet.....	21
4. Tutkimusmenetelmä	24
4.1. Asiantuntijahaastattelut	24
4.2. Asiantuntijatyöpaja.....	24
5. Tutkimustulokset	25
5.1. Asiantuntijahaastattelujen ja työpajan tulokset	25
5.1.1. Vastuujaon selkeyttäminen	26
5.1.2. Käyttäjien ja ylläpidon osaamisen varmistaminen	26
5.1.3. Viestintäkäytäntöjen ja tiedonhallinnan kehittäminen.....	27
5.2. Toimintamalli projektitiimin yhteistyöhön	28
5.2.1. Toimintamalli suunnitteluvaiheessa.....	28

5.2.2. Toimintamalli toteutusvaiheessa	30
5.2.3 Toimintamalli käyttöönotto- ja seurantavaiheessa.....	30
6.Tulosten pohdinta ja yhteenveto	32
7. Johtopäätökset	33
Lähteet.....	35
Liite 1. Asiantuntijahaastattelun kysymykset.....	38
Liite 2. Projektitiimin toimintamalli.....	39

1. Johdanto

1.1. Tutkimuksen tausta ja tavoite

Hybridienergiajärjestelmillä on merkittävä rooli rakennusten energiankulutuksen ja hiilidioksidipäästöjen pienentämisessä. Hybridienergiajärjestelmät yhdistävät useita eri energialähteitä kuten kaukolämmön ja lämpöpumpulla tuotetun lämmön maasta- tai poistoilmasta sekä aurinko- ja tuulivoiman, täyttääkseen rakennuksen energiatarpeen. Järjestelmien käyttöönottoa tukevat parantunut akkuvarastointi ja energianhallintajärjestelmät, jotka mahdollistavat uusiutuvien energialähteiden paremman integroinnin ja optimoinnin. (Nazari-Heris ym. 2023).

Uusiutuvien energialähteiden kasvanut kysyntä, poliittiset toimet sekä energiaomavaraisuuden tarve edistävät hybridienergiajärjestelmien markkinoiden kasvua (Nazari-Heris ym. 2023). Valitettavasti järjestelmien nopeasti kasvanut käyttö ja uudet teknologiat on tuoneet mukanaan puutteellisesti toimivia järjestelmiä. Suomessa hybridijärjestelmät ovat pääsääntöisesti erilaisia lämpöpumppujärjestelmiä, joiden yleisimmät ongelmat ovat lämmönkeruussa, automatiikassa ja asennusvirheissä. Koulutus- ja osaamispuutteita on tunnistettavissa koko hybridienergiajärjestelmän käyttöönottoprosessissa, ja toiminnanvarmistuksen vaiheita ei ole suoritettu Suomen RT-korttien ohjeistuksien mukaisesti. Osaamattomuus monimutkaisten lämmityksen hybridijärjestelmien toteuttamisessa johtaa takuuajan aikaisiin korjaustarpeisiin. Toimintatavat myös vaihtelevat paljon eri projekteissa ja riippuvat työntekijöistä. (Johannes Simo ym. 2024).

Hybridienergiajärjestelmissä suunnittelijoiden ja järjestelmäoperaattorien yhteinen vastuunkanto rakennusten toimivuudesta on keskeistä. Aiemmassa HybE-hankkeen tutkimuksessa hybridienergiajärjestelmien riskienhallinnasta (Hirvonen ym. 2024) todettiin, että järjestelmän ylläpitäjän/operaattorin tulisi olla mukana jo suunnitteluvaiheessa, jotta käytännön kokemukset automaatiojärjestelmän toimivuudesta tulisi hyödynnettyä tehokkaasti. Kaikki osajärjestelmät (ilmanvaihto, lämmitys, jäähdytys) tulisi suunnitella kokonaisuutena, jolloin vältetään rinnakkaisten järjestelmien ristiriitainen toiminta. (Hirvonen ym. 2024).

Usein energiatehokkaiksi tarkoitetut rakennukset eivät käytännössä toteuta niille hankkeen alussa asetettuja tavoitteita ja ostoenergiaa kuluu odotettua enemmän. HyBE-hankkeen tutkimuksessa (Sina Moradi ym. 2023) selvitettiin esteitä ja ajureita energiatehokkuuden toteutumiseksi rakennuksen elinkaaren eri vaiheissa: hankesuunnitteluvaiheessa, rakennussuunnitteluvaiheessa, urakointivaiheessa sekä ylläpito- ja käyttövaiheessa. Eri osapuolten yhteistyö todettiin kriittiseksi energiatehokkuutta tavoittelevien rakennushankkeiden onnistumiselle. (Sina Moradi ym. 2023).

Hankkeen toimittamiseen käytetyllä sopimusmallilla on myös tärkeä rooli ohjata osapuolet kohti yhteistä tavoitetta. Hankkeen onnistumista tulisi mitata rakentamisvaiheen päättymisen jälkeen siten, että vastuu käyttövaiheen energiankulutuksesta jakautuu ylläpidon lisäksi myös suunnittelijoiden ja urakoitsijoiden harteille (Sina Moradi ym. 2023). Jotta ympäristöhyödyt ja energiasäästöpotentiaali saavutetaan, myös

asiakkaalta tarvitaan halua ja osaamista hybridienergiajärjestelmän suunnittelun alusta alkaen. Kun toimijoiden vastuut on tarkasti määritelty ja osapuolten ammattitaito on riittävä, koko prosessin laatu paranee. Tiedonkulku ja yhteistyö omistajan, valvojen, laitevalmistajien, suunnittelijoiden ja urakoitsijoiden välillä ovat erittäin tärkeässä roolissa korkealaatuisen hybridienergiajärjestelmän toteutuksessa. (Johannes Simo ym. 2024).

Tämän tutkimuksen päätavoitteena oli kehittää toimintamalli hybridienergiajärjestelmän toteutuksen projektitiimille yhteisten tavoitteiden saavuttamiseksi korjaushankkeessa.

Tutkimuksen tavoitteesta on johdettu seuraava pääkysymys:

- 1. Millaisella projektitiimin toimintamallilla saavutetaan yhteiset tavoitteet hybridienergiajärjestelmän toteutuksessa korjaushankkeissa?**

Muut tutkimusta ohjaavat kysymykset ovat:

2. Mitä eri toimijoita hybridienergiajärjestelmän toteuttamisessa on mukana suunnittelusta käyttövaiheeseen asti?
3. Mitkä ovat keskeiset haasteet ja esteet hybridienergiajärjestelmän projektitiimin yhteistyössä ja tavoitteiden saavuttamisessa?
4. Millaisella projektitiimin toimintamallilla voidaan parantaa hybridienergiajärjestelmän optimaalista toimintaa?
5. Mitkä ovat keskeisimmät elementit, jotka tulee sisällyttää hybridienergiajärjestelmän projektitiimin toimintamalliin?

1.2. Menetelmät

Käytettävät tutkimusmenetelmät olivat kirjallisuusselvitys, asiantuntijahaastattelut ja työpaja työskentely. Kirjallisessa osuudessa tarkastellaan hiilineutraalin tulevaisuuden tuomia vaatimuksia korjausrakentamiselle, projektitiimin yhteistyöhön vaikuttavia tekijöitä kuten urakkasopimusmalleja sekä hybridienergiajärjestelmien toteuttamisen haasteita korjaushankkeessa. Puolistrukturoidussa asiantuntijahaastattelussa haastateltiin hybridienergiajärjestelmän tilaajia, suunnittelijoita, urakoitsijoita ja valvoja. Haastattelujen avulla tunnistettiin hybridienergiajärjestelmän projektitiimin yhteistyön hyviä käytäntöjä ja haasteita. Työpajan avulla laadittiin projektitiimille toimintamalli hybridienergiajärjestelmän toteuttamiseen.

2. Kirjallisuuskatsaus

2.1. Hiilineutraalin tulevaisuuden vaatimukset korjausrakentamiselle

Uudistettu rakennusten energiatehokkuusdirektiivi tuli voimaan 28.5.2024 ja on osa EU:n 55-valmiuspakettia, jonka tavoitteena on vähentää kasvihuonekaasupäästöjä vähintään 55 % vuoteen 2030 mennessä. Tulevaisuuden rakennus nähdään päästöttömänä: sen energiantarve on hyvin pieni, se ei käytä fossiilisia polttoaineita eikä aiheuta merkittäviä kasvihuonekaasupäästöjä. Vuoteen 2030 mennessä kaikkien uusien rakennusten on oltava päästöttömiä. Vuoteen 2050 mennessä myös olemassa olevat rakennukset on muunnettava päästöttömiksi. (EU 2024).

2.1.1. Kansallinen perusparannussuunnitelma

Energiatehokkuusdirektiivin vaatimat muutokset Suomen lainsäädäntöön on tehtävä 29. toukokuuta 2026 mennessä. Ympäristöministeriö on perustanut seurantaryhmän, jossa käsitellään toimeenpanoa. Hallitusohjelman mukaisesti direktiivin kansallinen toimeenpano pyritään tekemään mahdollisimman vähäisillä muutoksilla voimassa oleviin säädöksiin. Jäsenvaltioiden on laadittava kansalliset rakennusten perusparannussuunnitelmat, jotka korvaavat aiemmat pitkän aikavälin peruskorjaustrategiat. Näiden suunnitelmien tavoitteena on saavuttaa erittäin energiatehokas ja päästötön rakennuskanta vuoteen 2050 mennessä. (EU 2024).

Perusparannussuunnitelmat toimivat työkaluna, jolla energiatehokkuus asetetaan etusijalle kaikessa energiaan liittyvässä suunnittelussa, politiikassa ja investoinneissa. Tämä periaate korostuu erityisesti rakennusten energiatehokkuuden parantamisessa ja tukee myös terveyden ja hyvinvoinnin edistämistä. Suomessa suunnitelmien laatiminen käynnistyi keväällä 2024. Rakennusten lämmitys- ja jäähdytysenergiasta kaksi kolmasosaa on yhä fossiiliperäistä. Direktiivi edellyttää fossiilisten polttoaineiden asteittaista poistamista käytöstä, ja jäsenvaltioiden on esitettävä kansallisissa suunnitelmissaan, millä toimilla tämä toteutetaan. Suosituksena on myös taloudellisten kannustimien tarjoaminen uusiutuvaa energiaa hyödyntäville hybridijärjestelmille, kuten aurinkolämmön ja lämpöpumpun yhdistelmille. Jatkossa voidaan säätää myös kieltoja lämmitysjärjestelmille niiden päästöjen tai uusiutuvan energian osuuden perusteella. (EU 2024).

2.1.2. Energiatehokkuuden vähimmäisvaatimukset

Noin 75 % EU:n rakennuskannasta on energiatehotonta, ja 85–95 % nykyisistä rakennuksista on edelleen käytössä vuonna 2050. Nykyinen perusparannusvauhti (1 % vuodessa) on riittämätön, ja ilman nopeutettuja toimia hiilestä irtautuminen kestäisi vuosisatoja. Energiatehokkuusdirektiivin keskeinen tavoite on vauhdittaa rakennusten perusparannuksia ja siirtymistä päästöttömiin lämmitysjärjestelmiin.

Tukitoimet, erityisesti kaupunginosatasolla, voivat lisätä perusparannusten määrää ja vaikuttavuutta. (EU 2024).

Jäsenvaltioiden on laadittava kansallinen etenemissuunnitelma, joka ohjaa asuinrakennuskannan asteittaista perusparannusta kohti päästöttömyyttä vuoteen 2050 mennessä. Muiden rakennusten osalta jäsenvaltiot voivat päättää energiatehokkuusvaatimusten käyttöönotosta kansallisten olosuhteiden mukaan. Olemassa olevien rakennusten peruskorjaukset tarjoavat tilaisuuden toteuttaa kustannustehokkaita energiatehokkuustoimia. Vaatimukset tulisi kohdistaa erityisesti niihin rakennusosiin, joilla on suurin vaikutus energiatehokkuuteen. (EU 2024).

Päästöttömien rakennusten energiantarve voidaan kattaa uusiutuvilla ja hiilettömällä lähteillä, kuten:

- aurinkolämpö ja -sähkö
- maalämpö ja lämpöpumput
- vesivoima ja biomassassa
- tehokas kaukolämpö/-jäähdytys
- uusiutuvan energian yhteisöjen tuotanto.

Lisäksi rakennukset voivat tukea energijärjestelmää kysyntäjoustop, varastoinnin ja hajautetun tuotannon avulla. Direktiivi edellyttää, että yli 500 m² kokoiset muut kuin asuinrakennukset varustetaan aurinkosähköjärjestelmillä laajamittaisen korjauksen tai luvanvaraisen perusparannuksen yhteydessä, mikäli se on teknisesti ja taloudellisesti toteutettavissa. Tämä toimenpide on sisällytettävä kansalliseen perusparannussuunnitelmaan. (EU 2024).

2.1.3. Perusparannuspassit ja energiatodistukset

Vapaaehtoiset perusparannuspassit tarjoavat rakennuksen omistajille ja sijoittajille vaihteellaisen suunnitelman energiatehokkuuden parantamiseksi. Ne auttavat ajoittamaan ja mitoittamaan toimenpiteet tehokkaasti. Jäsenvaltioiden tulee mahdollistaa, että sama asiantuntija laatii sekä perusparannuspassin että energiatodistuksen, jolloin ne voidaan myöntää yhdessä. Tällöin passin suositukset voivat korvata energiatodistuksen suositukset. Energiatodistus on kuitenkin voitava hankkia myös ilman perusparannuspassia. (EU 2024).

Energiatehokkuustodistukset halutaan tehdä vertailukelpoisemmiksi koko EU:ssa. Tavoitteena on yhteinen asteikko ja todistusmalli. Todistuksessa tulee esittää:

- energiatehokkuusluokka ja -indikaattori

- energiankulutus ja uusiutuvan energian tuotanto
- kasvihuonekaasupäästöt ja mahdollisesti sisäympäristön laatu
- suosituksia energiatehokkuuden parantamiseksi.

Myytävien ja vuokrattavien rakennusten energiatehokkuustiedot on ilmoitettava mainoksissa, ja ostajille sekä vuokralaisille on tarjottava luotettavaa tietoa. Pitkäaikaiset perusparannussopimukset tukevat vaiheittaista energiatehokkuuden parantamista. Jäsenvaltiot voivat ottaa käyttöön mekanismeja, jotka mahdollistavat tällaiset sopimukset. Pitkälle menevä perusparannus tarkoittaa rakennuksen muuttamista lähes nollaenergiarakennukseksi, ja lopulta nollaenergiarakennukseksi. Tämä on keskeinen osa EU:n pitkän aikavälin rakennusvisiota. Jäsenvaltioiden tulee vahvistaa taloudellista ja hallinnollista tukea näille perusparannuksille, jotta perusparannusaallon tavoitteet saavutetaan. (EU 2024).

2.1.4. ISO 50001 Energianhallinta

Energianhallintajärjestelmä auttaa organisaatioita hallitsemaan energiankäyttöään paremmin. Energianhallintajärjestelmä sisältää energiastrategian kehittämisen ja toteuttamisen, saavutettavien energiatavoitteiden asettamisen sekä toimintasuunnitelmien laatimisen niiden saavuttamiseksi ja edistymisen mittaamiseksi. Tämä voi sisältää uusien energiatehokkaiden teknologioiden käyttöönoton, energiahukan vähentämisen tai nykyisten prosessien parantamisen energian kustannusten vähentämiseksi.

ISO 50001 tarjoaa organisaatioille tunnustetun viitekehyksen tehokkaan energianhallintajärjestelmän kehittämiseksi. ISO 50001 tarjoaa vaatimuksia, jotka mahdollistavat organisaatioiden:

- Tavoitteiden asettaminen energian tehokkaalle käytölle
- Tietojen keräys energian käytön ymmärtämiseksi ja päätöksenteon tueksi
- Saavutettujen tulosten mittaus
- Toiminnan tehokkuuden arviointi
- Energianhallinnan jatkuva parantaminen. (ISO 50001 Energy Management systems 2018).

2.2. Projektitiimin yhteistyö korjaushankkeissa

Korjaushankkeiden läpivienti ja onnistuminen vaatii kaikkien osapuolien panosta ja monipuolista osaamista. Tilaaajan, kiinteistöpäällikön, projektinjohtajan, suunnittelijoiden, urakoitsijoiden ja muiden

korjaamiseen osallistuvien on tiedettävä hankkeen vaiheet sekä eri osapuolten tehtävät ja vastuut, jotta hankkeessa saavutetaan sille asetetut tavoitteet. (Rakennustieto Oy 2021).

2.2.1. Yhteistyön esteet ja kannustimet

Monet rakennukset eivät saavuta asetettuja energiansäästö tavoitteita, koska suunnittelumääritysten ja käytännön toteutuksen välillä on ristiriita. Tämä johtuu usein puutteellisesta yhteistyöstä hankkeen eri osapuolten välillä. Kustannusten minimointi asetetaan usein etusijalle, jolloin viestintään ja yhteistyöhön ei haluta panostaa. Yhteistyön puute voi johtaa:

- tehottomiin ratkaisuihin
- säästöjen jäämiseen toteutumatta
- epäselvyyksiin vastuunjaossa
- riskien kasvuun ja mainehaittoihin.

Lisäksi epävarmuus yhteistyön pitkän aikavälin hyödyistä ja vastuiden epäselvyys heikentävät motivaatiota. Usein ei ole selkeää, kuka vastaa energiansäästöjen toteutumisesta, eikä käytössä ole sanktioita tavoitteiden laiminlyönnistä. Yhteistyötä voidaan edistää esimerkiksi:

- teknologisten innovaatioiden tukemisella
- taloudellisilla kannustimilla ja tukimuodoilla
- koulutuksella ja tiedonjaolla
- julkisella tunnustuksella ja näkyvyydellä
- selkeillä vastuunjaon järjestelmillä
- kannustinjärjestelmillä ja sanktioilla, jos tavoitteita ei saavuteta.

Yhteistyön parantaminen ei ainoastaan tehosta energiansäästöä, vaan myös vähentää riskejä ja parantaa kaikkien osapuolten mainetta. (Xu ym. 2019).

2.2.2. Urakkamuotojen vaikutus yhteistyöhön

Urakkamuodoilla on merkittävä rooli siinä, että miten eri osapuolten vastuut jaetaan korjaushankkeessa. Urakkamuodossa määritetään, että ketkä ovat keskenään sopimussuhteessa. (Talokeskus 2025).

Taulukossa 1. on esitetty yleisimmät urakkamuodot korjaushankkeissa ja erot vastuissa.

TAULUKKO 1. YLEISIMMÄT URAKKAMUODOT KORJAUSHANKKEISSA

Urakkamuoto	Suunnittelun vastuu	Toteutuksen vastuu	Vastuun laajuus	Esimerkki
Kokonaisurakka	Tilaaja	Urakoitsija	Tilaaja tilaa suunnitelmat, joiden pohjalta valittu urakoitsija toteuttaa hankkeen. Pääurakoitsija vastaa aliurakoitsijoidenkin suorituksista.	Yksinkertaiset suunnitelmat vain pienillä muutoksilla
Jaettu urakka	Tilaaja	Urakoitsijat	Tilaaja tekee sopimukset eri urakoitsijoiden kanssa suoraan.	Tilaajalla on asiantuntemusta ja halua koordinoida eri ratkaisuja ja tekijöitä
Kokonaisvastuu-urakka (KVR)	Urakoitsija	Urakoitsija	Urakoitsija vastaa suunnittelusta, että toteutuksesta.	Suuret, monimutkaiset hankkeet, jossa tilaaja haluaa vain yhden sopimuksen ja urakoitsijan vastaavan kaikesta.
Projektinjohtourakka	Tilaaja ja urakoitsija (yhteistyössä)	Urakoitsija	Urakoitsija ottaa vastuulleen projektin johtamisen ja toteutuksen.	Hankkeet, joissa halutaan yhdistää joustavuus, tehokkuus ja tilaajan vaikutusmahdollisuudet toteutukseen
Allianssiurakka	Kaikki	Kaikki	Kaikki osapuolet vastaavat yhdessä hankkeen suunnittelusta ja toteutuksesta sekä jakavat siihen liittyvät hyödyt ja riskit.	Monimutkaiset ja laajavaikuttiset hankkeet, joissa korostuvat vuorovaikutus, yhteinen sitoutuminen ja pitkäjänteinen yhteistyö

Kokonaisurakassa tilaaja aloittaa korjaushankkeen ja tilaa suunnitelmat. Valmiiden suunnitelmien pohjalta pyydetään tarjoukset eri urakoitsijoilta, ja valinta tehdään sen mukaan, mikä tarjous vastaa parhaiten tilaajan tarpeita (Talokeskus 2025). Pääurakoitsija rakentaa asiakkaan suunnitteleman kohteen joko omin voimin tai alihankkijoiden avulla, jolloin pääurakoitsija vastaa aliurakoitsijoiden suorituksista

kuin omistaan. Kokonaisurakka sopii tapauksiin, joissa suunnitelmat ovat toteutuskelpoiset sellaisenaan tai pienillä, aikatauluun ja kustannuksiin vaikuttamattomilla muutoksilla. Riskinä ovat puutteelliset suunnitelmat, jotka voivat aiheuttaa lisätöitä, viivästyksiä ja kustannusten kasvua. (Tiusanen ym., ei pvm.).

Jaettu urakka sopii hyvin taas silloin, kun tilaaja haluaa määritellä tiettyjen tekniikka-alueiden tekijät ja tarkemmat ratkaisut. Jaetussa urakassa tilaaja tekee sopimukset suoraan eri urakoitsijoiden kanssa. (Rakentaja PRO 2025).

KVR-urakka eli avaimet käteen -malli on erityisen suosittu suurissa ja monimutkaisissa hankkeissa. Urakoitsija vastaa sekä suunnittelusta että toteutuksesta, mikä selkeyttää vastuunjakoa ja vähentää sopimusten määrää. Urakoitsija voi käyttää omaa osaamistaan ja innovaatioitaan, mikä voi lyhentää hankkeen kokonaisaikaa ja keventää tilaajan hallinnollista taakkaa. Hyvä ja avoin viestintä tilaajan ja urakoitsijan välillä on keskeistä hankkeen onnistumiselle (Tiusanen ym., ei pvm.). Kun hankesuunnittelu on tehty, tilaaja pyytää urakoitsijoilta tarjouksia, jotka sisältävät myös teknisen suunnittelun. Valitun urakoitsijan suunnittelukumppanit laativat toteutussuunnitelmat, ja tilaajan projektipäällikkö voi osallistua suunnittelun ohjaukseen. Suunnittelu perustuu urakoitsijan kokemukseen ja optimointiin toteutuksen näkökulmasta. (Talokeskus 2025).

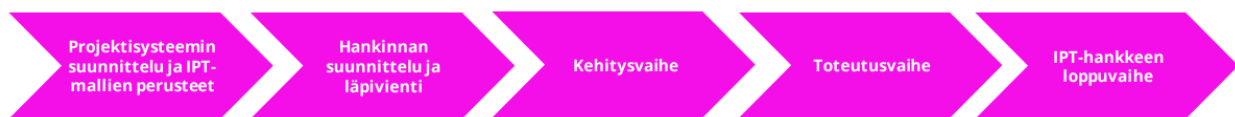
Projektinjohtourakassa urakoitsija toimii tilaajan kumppanina erityisesti suunnittelun ohjauksessa. Toteutusmalli perustuu tiiviiseen yhteistyöhön ja vaatii rakennuttajalta vahvaa osaamista sekä selkeää ymmärrystä vastuunjaosta. Tässä urakkamuodossa suunnittelu ja toteutus limitetään, mikä voi merkittävästi lyhentää rakentamisaikaa. Tilaaja voi käynnistää hankkeen jo hankesuunnitelman pohjalta, sillä yksityiskohtainen toteutussuunnittelu siirtyy urakoitsijan vastuulle. Tämä mahdollistaa joustavan ja vaihteittaisen etenemisen. Projektinjohtourakka sopii erityisesti hankkeisiin, joissa halutaan yhdistää joustavuus, nopeus ja tilaajan vaikutusmahdollisuudet toteutukseen. (Rakentaja PRO 2025).

Allianssi on avoin ja yhteistoiminnallinen hankemalli, jossa kaikki osapuolet muodostavat yhteisen projektiorganisaation. He vastaavat yhdessä hankkeen suunnittelusta ja toteutuksesta sekä jakavat siihen liittyvät hyödyt ja riskit. Mallin ytimessä on luottamukseen perustuva yhteistyö, jossa ratkaisuja haetaan avoimen keskustelun ja joustavan vuorovaikutuksen kautta. Allianssi mahdollistaa eri sidosryhmien osallistumisen hankkeeseen. Allianssimalli soveltuu erityisesti monimutkaisiin ja laajavaikutteisiin hankkeisiin, joissa korostuvat vuorovaikutus, yhteinen sitoutuminen ja pitkäjänteinen yhteistyö. (Tiusanen ym., ei pvm.)

Allianssimalli perustuu integroituun projektitoimitusmalliin (IPT-malli), joka on alun perin kehitetty USAssa sairaalarakentamisessa. Se keskittyy ihmisiin ja hyödyntää lean-ajattelua. Pisimmälle viety integroitu projektitoteutus projektiallianssi on kehitetty Australiassa, jossa on tehty yli 400 hanketta. Suomessa on käytössä Australiassa kehitetyn projektiallianssi mallin kopio, jota on muokattu hankekohtaisesti. (Vison Oy 2020).

IPT-mallit tarjoavat tilaajille mahdollisuuden toteuttaa monimutkaisia ja vaativia hankkeita hallitummin

yhteistyössä eri osajien kesken. IPT-mallissa onnistuneen hankkeen läpiviennissä auttaa strateginen suunnittelu ja ymmärrys kokonaisuudesta jo hankkeen alussa (kuva 1).

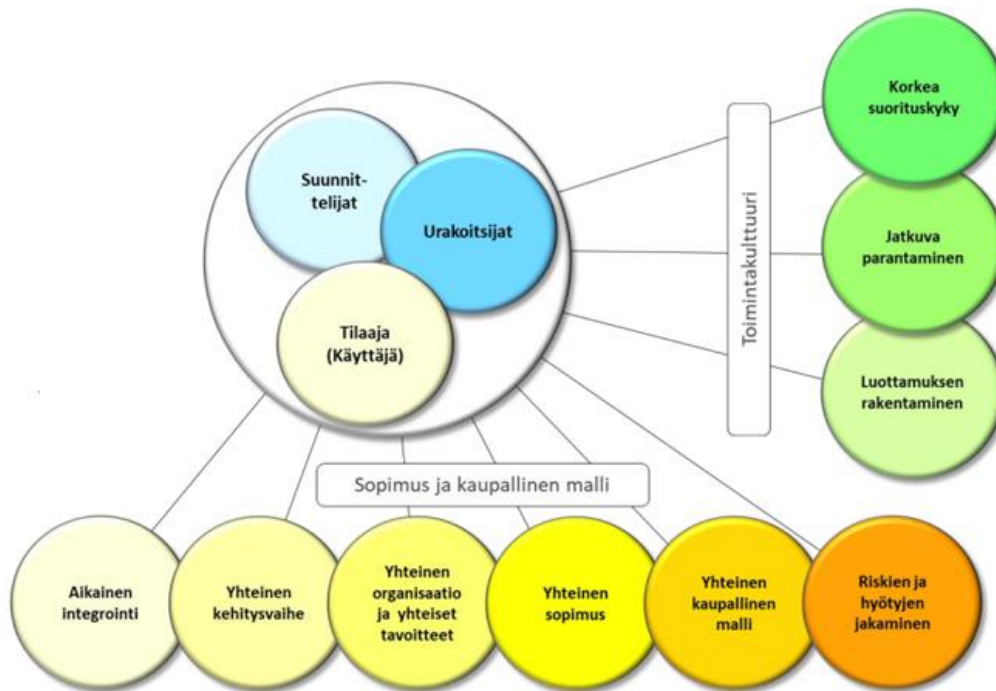


Kuva 1. IPT-mallin hankintaprosessi (RAKLI ja Vison Oy 2022)

Hankkeen alussa tehdään päätös hankkeen toteutusmuodosta ja varmistetaan, että sen keskeiset osat ja niiden vuorovaikutussuhteet ovat tavoitteiden mukaisia. Hankkeen suunnittelu ja läpivienti vaiheessa varmistetaan, että hankkeeseen saadaan parhaat resurssit. Kehitys- ja toteutusvaiheessa hanke suunnitellaan ja toteutetaan yhteistyössä tavoitteiden mukaisesti. IPT-mallissa tilaaja kilpailuttaa keskeiset kumppanit pääsääntöisesti neuvottelumenettelyllä, joka vaatii tilaajalta huomattavista enemmän sitoutumista verrattuna perinteisiin hankintamenettelyihin. Hankkeen onnistunut läpivienti varmistetaan kehitysvaiheen suunnittelulla, jossa määritellään hankkeen sisältö ennen varsinaisen suunnittelutyön käynnistymistä. (RAKLI ja Vison Oy 2022).

Seuraavana askeleena on käytettävien työkalujen ja toimintatapojen määrittäminen sekä arvon tuottoon tähtäävän TVD-prosessin suunnittelu. TVD eli Target Value Design on prosessi ja johtamiskäytäntö, jonka tavoitteena on suunnitteluratkaisuilla ja tuotannon suunnittelulla täyttää kaikki tilaajan asettamat tavoitteet hyödyntämällä eri osajien tietotaidon. Hankkeen sisältö, laajuus, laatutaso, toteutussuunnitelma, tavoitteiden ja tavoitekustannusten määrittely tulee olla tehtynä ennen toteutusvaiheeseen siirtymistä. Tämä vaihe sisältää myös riskien hallinnan suunnittelun, kannustinjärjestelmän viimeistelyn, johtamisjärjestelmän ja organisoinnin periaatteiden hyväksynnän ja dokumentoinnin. (RAKLI ja Vison Oy 2022).

Toteutusvaiheeseen kuuluu jälkivastuu-aikaan varautuminen. Sopimuksellisesti IPT-hankkeessa viiden vuoden jälkivastuu-aika on toteutusvaiheen osa, joka käynnistyy hyväksytystä vastaanotosta. Jälkivastuu-aikana virheet ja puutteet korjataan määritellyn hankesisällön mukaisesti. Jälkivastuuajalla osapuolilla on edelleen myös rahallinen yhteisvastuu ja toimintaa ohjataan mittareilla. (RAKLI ja Vison Oy 2022). IPT-hankkeen kulmakivet muodostavat projektin osapuolten integroiminen sopimuksella ja kaupallisilla intresseillä sekä yhteisten toimintatapojen ja teknologian käyttäminen (kuva 2).



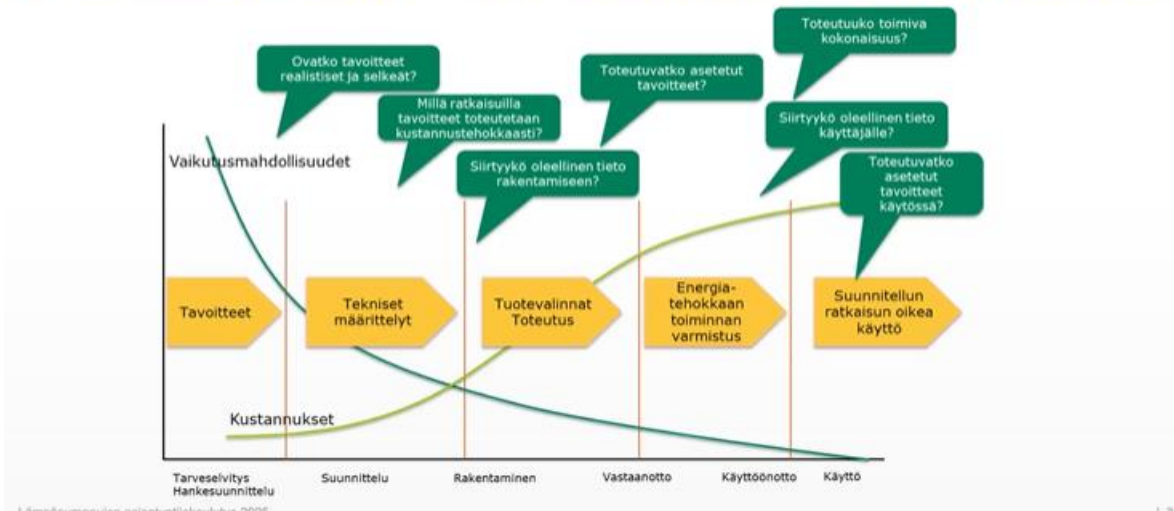
KUVA 2. IPT-SOPIMUS MALLI (RAKLI JA VISON OY 2022).

3.1. Hybridienergiajärjestelmien toteutus korjaushankkeissa

3.1.1. Toteutuksen eri vaiheet ja osapuolet

Tampereen yliopisto kehitti yhteistyössä yritysten asiantuntijoiden kanssa lämpöpumppukurssia, jossa käytiin läpi rakennushankkeen eri vaiheet (kuva 3). Sama prosessi pätee myös hybridienergiajärjestelmien toteutuksessa.

Rakennushanke – Suunnittelusta toteutukseen



KUVA 3. RAKENNUSHANKE - SUUNNITTELUSTA TOTEUTUKSEEN (NIEMELÄ 2025)

Suunnittelu

Hankesuunnittelu on keskeisessä roolissa onnistuneen lämpöpumppuhankeen kannalta, koska alussa vaikutusmahdollisuudet ovat suurimmat. Kaikki hankkeen sidosryhmät ja heidän välisensä yhteistyö vaikuttavat hankkeen onnistuneeseen lopputulokseen. Hankkeen alussa määritellään hankkeen kannalta keskeiset ja merkitsevät tavoitteet, joiden pohjalta järjestelmä mitoitetaan, suunnitellaan ja toteutetaan. Tavoitteet liittyvät yleensä energiatehokkuuteen ja vastuullisuuteen, ja vaikuttavat järjestelmien mitoittamiseen, kylmäainevalintoihin ja toiminnallisiin. Käyttövaihe ja ylläpidon aikainen toiminnanvarmuus tulee huomioida jo hankesuunnitteluvaiheessa. Suunnittelijan vastuulla on laatia toteutuskelpoiset suunnitelmat ja auttaa urakoitsijoita ymmärtämään, mitä järjestelmällä haetaan ja miten järjestelmä on suunniteltu toimivan. Tietoa tarvitaan erityisesti tilaajalta ja suunnittelijalta oma-aloitteisuutta selvittää lisätietoa. Suunnittelija joutuu tuottamaan usein erilaisia vaihtoehtoja päätöksentekoa varten puutteellisillakin lähtötiedoilla, jotka tarkentuvat hankkeen edetessä. (Niemelä 2025).

Rakentaminen

On tärkeää, että kaikki oleellinen tieto suunnittelijoilta siirtyy rakentamisvaiheeseen urakoitsijoille. Urakointi vaiheessa on hyvä uudelleen tarkistaa, että tuotevalinnat mahdollistavat asetettujen tavoitteiden toteuttamisen. Kaikki oleellinen tieto järjestelmien toiminnasta tulee siirtyä myös käyttäjille, jotta alussa asetetut energiatehokkuus – ja vastuullisuustavoitteet saadaan käytössä toteutettua. Laitehyväksynnässä suunnittelijan on oltava tarkkana urakoitsijan ehdottaman laitteen vastaavuudesta suunniteltuun ja varmistaa urakoitsijan kanssa, että laite täyttää vaatimukset.

Hybridiennergiajärjestelmissä korostuu myös automaatiojärjestelmän- ja toimittajan valinta, että heillä on tarvittava ymmärrys järjestelmistä ja niiden toiminnasta. On myös hyvä selvittää, että onko automaatiojärjestelmän toimittajalla mahdollisuutta järjestelmän jälkihoitoon. (Niemelä 2025).

Urakoitsijan vastuulla on suunnitelmiin perehtyminen, toteutus suunnitelmien mukaisesti, ja tarvittaessa suunnitelmakatselmus suunnittelijan kanssa. Ristiriitaisissa tilanteissa urakoitsijalle kuuluu myös asian läpikäynti suunnittelijan ja valvojan kanssa. Tärkeää on myös urakoitsijan yhteistyö laitetoimittajien ja muiden urakoitsijoiden kanssa. Sivula pitää tärkeänä, että onnistuneen hankkeen kannalta kaikilla osapuolilla on yhteinen tavoite. (Sivula 2025).

Vastaan- ja käyttöönotto

Toimintakokeissa urakoitsija tekee laitteiden käyttöönotot, varmistaa järjestelmän toiminnan toimintaselostuksen mukaisesti sekä varmistaa liittyvien järjestelmien kuten jäähdytys- ja lämmitysverkoston yhteensovituksen ja yhteistoiminnan. Valvoja huolehtii, että urakoitsija on ymmärtänyt suunnitelmat, ja tarvittaessa ohjaa urakoitsijan ja suunnittelijan yhteistyöhön. Hän tarkastaa asennukset yhdessä suunnittelijan kanssa, että ne ovat suunnitelmien mukaiset. Lisäksi valvoja valvoo, että painekokeet ja vesivirtamittaukset tulee tehtyä ennen käyttöönottoa. Valvoja myös varmistaa, että urakoitsijat suorittavat käyttöönotot sekä keskinäiset toimintakokeet. Lisäksi hän johtaa tilaajan toimintakokeet ennen vastaanottoa, joissa valvoja laatii virhe- ja puuteluettelon. Suunnittelija osallistuu mukaan toimintakokeisiin ja tarvittaessa vetää ne. (Sivula 2025).

Käyttöönotossa tehdään suunnitelmakatselmus suunnittelijan ja urakoitsijan kanssa, missä käydään läpi kytkennät, toimintaselostus ja tehdään asennustapatarkistus. Urakoitsijat tekevät omat käyttöönotot ja urakoitsijoiden väliset toimintakokeet, minkä jälkeen on valmius tilaajan vetämillä toimintakokeille. Tämän jälkeen on valmiina luovutusaineisto tilaajalle huolto-ohjeineen. (Sivula 2025).

Käyttöönotossa etävalvonnan ja ylläpidon käyttöönottosuunnitelma täytyy olla tehtynä.

Käyttöönottosuunnitelma sisältää:

- Organisaatiot ja niiden vastualueet
- Toteutusratkaisun läpikäynti sidosryhmien kanssa kuten suunnittelijat, toteuttajat ja käyttöönotto
- Dokumentaation varmentaminen ylläpidolle
- Aktiivinen toiminta laitteiston käyttöönottovaiheessa. (Pirhonen 2025).

Tilaajan vastuulla on järjestelmien toimintojen testaaminen systemaattisesti koko toimintaselostuksen mukaisesti. Vastaanoton edellytyksenä on urakoitsijoiden itselle luovutukset, urakoitsijoiden väliset toimintakokeet, luovutusaineisto ja tilaajan toimintakokeet on suoritettu onnistuneesti. Vastaanoton tavoitteena on 0-virhe luovutus. (Sivula 2025).

Talotekniikka 2030 -hankkeessa (Kilpeläinen ym. 2023) tutkittiin hybridilämmitysjärjestelmien toiminnanvarmistusprosessia kahdessa korjaushankkeessa. Useimmissa koekohteissa prosessi perustui RT-kortteihin 10-11301 ja 10-11302, jotka painottavat erityisesti testaus- ja luovutusvaihetta. Kuitenkin hybridijärjestelmien monimutkaisuuden vuoksi toiminnanvarmistuksen tulisi kattaa koko hankkeen elinkaari hankesuunnittelusta jatkuvaan käytönaikaiseen seurantaan. Tutkimuksessa nousi seuraavat toiminnanvarmistuksen kehitystarpeet:

- **Toiminnanvarmistuksen laajuus:** RT-korttien nykyinen painotus ei riitä kattamaan järjestelmän koko elinkaarta. Niiden päivittäminen ASHRAE:n ja REHVA:n kansainvälisten ohjeiden mukaisesti voisi parantaa käytäntöjä.
- **Käyttövaiheen seuranta:** Vaikka useimmissa kohteissa oli tekniset valmiudet jatkuvaan mittarointiin, seurantaa ei toteutettu. Tämä voi johtaa tilanteisiin, joissa järjestelmä tuottaa käyttäjälle hyvät olosuhteet, mutta energiatehokkuus jää suunnitellusta merkittävästi jälkeen.
- **Rakentamis- ja käyttöönnoton kriittisyys:** Rakentamisvaiheessa korostui tarve varmistaa eri laitteistojen yhteistoiminta. Tämä on haastavaa, koska järjestelmät koostuvat usein eri valmistajien osista. Vastuunjaon epäselvyys, erityisesti jaetuissa urakoissa, johti monissa tapauksissa toiminnallisiin ongelmiin.
- **Toiminnanvarmistusvastaavan puuttuminen:** Monissa hankkeissa ei ollut nimettyä vastuuhenkilöä toiminnanvarmistukselle. Tämä lisäsi riskiä, että kriittisiä yksityiskohtia jäi huomaamatta. Ongelmaa pahentaa asiantuntijapula: hybridijärjestelmien syvällistä osaamista vaaditaan, mutta koulutusta on tarjolla niukasti ja osaaminen perustuu usein itseopiskeluun.
- **Seurannan systematisointi:** Järjestelmän toiminnan arviointi tulisi perustua säännölliseen, esimerkiksi kuukausittaiseen, vertailuun mitattujen ja laskennallisten tunnuslukujen välillä koko elinkaaren ajan. Tämä mahdollistaisi poikkeamien varhaisen havaitsemisen ja korjaamisen. (Kilpeläinen ym. 2023).

Takuuajalle kuuluva järjestelmän seuranta ja optimointi on urakoitsijoiden vastuulla. Tilaajan kannattaa pyytää suunnittelijaa seuraamaan järjestelmän toimintaa ja ohjaamaan tarvittaessa urakoitsijaa. Valvoja/suunnittelija suorittaa 1. ja 2. vuoden takuutarkastukset ja laatii muistiot. Takuuajankin jälkeen järjestelmä vaatii jatkuvaa seurantaa ja hälytyksiin reagoimista. Seurantaan voidaan määritellä kiinteistöhuolto, urakoitsija, erikoistunut palveluntuottaja tai järjestelmän suunnittelija. Osapuolet voivat pyytää yhteistä läpikäyntipalaveria osapuolten kesken, jossa käydään läpi mitä meni hyvin ja mikä voisi mennä paremmin. Läpikäyntejä voi olla vastaanoton yhteydessä ja takuualalla. Suunnittelija voi pyytää myös palautetta suunnitteluratkaisuista urakoitsijalta, mikä auttaa kehittämään suunnittelua paremmaksi. (Sivula 2025).

Laitteiston käynnistys eli takuu aika (0-2 vuotta) on järjestelmän aktiivista seurantaa sisältää sekä fyysisen valvonnan ja analytiikan mukaan. Tavoitteena on suunnitelman mukainen toiminta ja vertailu suunnitteluarvoihin. Pirhonen suosittelee, että seuranta ei olisi kiinteistöhuollon vastuulla, vaan vastuussa olisi ulkopuolinen toimija esimerkiksi suunnittelija tai konsultti. Tämän kahden vuoden jakson jälkeen seuraa ylläpitojakso, jolloin seurantaa voidaan vähentää ja enemmän jaksottaa, mikäli käynnistysjakso on

ollut onnistunut. Voidaan arvioida erikseen, että onko analytiikalle tarvetta. Ylläpidon ja etävalvonnan laiminlyönti johtaa järjestelmän huonoon energiatehokkuuteen. (Pirhonen 2025).

3.1.2. Toteutuksen haasteet

Suomalaisen toimistorakennuksen simulaatiotutkimuksessa energiaremontilla arvioitiin saatavan yli 60% säästöt CO₂-päästöissä, kun toteutetaan kustannustehokkain ratkaisu, johon kuului maalämpöjärjestelmä, aurinkosähkökenttä ja ilmanvaihtojärjestelmän modernisointi (Niemelä ym. 2017). Huomioimalla toimivamman sisäilmaston vaikutukset työn tuottavuuteen, saatiin elinkaarikustannuksia laskettua entisestään. Energiatehokkaiden rakennusten käytännön toteuttamisessa on kuitenkin lukuisia haasteita (Moradi ym. 2023). Uusiin rakennuksiin liittyvät haasteet pätevät usein myös korjaushankkeisiin, mutta olemassa oleviin rakennuksiin kohdistuvissa hankkeissa on omia erityisiä haasteita. Monet ongelmakohdat liittyvät nimenomaan talotekniikkaan ja hybridienergiajärjestelmiin. Korjaushankkeissa ei välttämättä voida toteuttaa periaatteessa optimaalista ratkaisua, koska saatavilla olevat tilat aiheuttavat rajoitteita. Jos remontoitavan tilan huonekorkeus on matala, ei välttämättä pystytä käyttämään kattoon asennettavia järjestelmiä. Myös rakenteiden kestävyys tuo haasteensa, kun asennetaan uusia laitteita, jotka usein ovat suurempia ja painavampia kuin vanhat. Myös tilojen pienuus voi samasta syystä estää parhaan ratkaisun käytön, sillä konehuoneessa ei välttämättä ole tilaa tarvittaville laitteille. Tärkeä keino hyvän lopputuloksen takaamiseen on toteuttaa rakennushanke elinkaarihankkeena, jossa eri osapuolilla on yhteiset tavoitteet rakennuksen energiatehokkuuden suhteen. Kun bonukset ja sakot maksetaan yhteisen suorituksen mukaan, on kaikilla motivaatio toteuttaa kokonaisoptimaalinen ratkaisu, joka toimii suunnitellusti myös rakennushankkeen päättymisen jälkeen.

Hyvänä puolena, olemassa olevista rakennuksista voi olla saatavilla historiatietoja järjestelmien toiminnasta, mikä auttaa järjestelmien mitoituksessa. Valitettavasti mittaustieto saattaa olla virheellistä ja epäluotettava data voi johtaa huonoon suunnitteluratkaisuun. Haasteet jatkuvat myös varsinaisen rakennushankkeen päätyttyä, sillä hybridienergiajärjestelmä vaatii jatkuvaa seurantaa ja hallintaa. Mikäli rakennukseen ei ole asennettu sopivaa mitta- ja rakennusautomaatiojärjestelmää, voi hybridienergiajärjestelmä toimia heikolla energiatehokkuudella. Yleinen ongelma on, että rakennuksissa ei ole järjestelmäkohtaista mittausta, josta voisi suoraan nähdä esim. lämpöpumpun sähkönkulutuksen. (Hirvonen ym. 2024)

(Mosaad ym. 2018) tutkivat Lähi-idän LVI-järjestelmien toteutuksen haasteita ja riskitekijöitä. Kolme merkittävää osa-aluetta olivat ilmanvaihtokanaviin liittyvä työ, jäähdytysveden jakeluputkiston rakentaminen ja LVI-laitteiden asennus. Erityisesti jäähdytysvesiputkistoon liittyi paljon riskejä, kuten venttiilien heikko laatu, kalibroimattomien painemittareiden käyttö ja heikko lämmöneristys. Jakeluputkisto venttiileineen sekä LVI-laitteet kuten pumput, lämmönvaihtimet, paisuntasäiliöt ja ilmanvaihtokoneet ovat tärkeässä roolissa myös hybridienergiajärjestelmien toteuttamisessa. Väärät laitevalinnat voivat haitata suoraan toiminnallisuutta, estää kytkennän verkostoon tai johtaa tilanpuutteeseen kokoerojen takia.

Lämpöpumppujen toiminnassa voi ilmetä erilaisia teknisiä ongelmia, jotka heikentävät energiatehokkuutta tai katkaisevat käytön kokonaan. Oikean toiminnan varmistaminen vaatii mittausdataa, mutta tarvittavien antureiden määrässä on erimielisyyttä. Eräässä tutkimuksessa tarvittavien antureiden määrä oli 8 kpl, jos niiden kustannukset huomioitiin, mutta 24, jos ei huomioitu. Toisissa selvityksissä antureita on ehdotettu tarvittavan lähes sata. Suorien mittauksen lisäksi voidaan hyödyntää virtuaalisia antureita, joissa tärkeitä suureita lasketaan muiden mittauksen perusteella. (Bellanco ym. 2021)

HybE:n selvitys hybridienergiajärjestelmien riskeistä korosti samoin mittauksien tärkeyttä (Hirvonen ym. 2024). Jotta voidaan varmistaa monimutkaisen hybridienergiajärjestelmän toimivan suunnitellulla tavalla, täytyy toteuttaa mittausjärjestelmä, joka kytketään jatkuvaan etävalvontaan. Kaikki osajärjestelmät (ilmanvaihto, lämmitys, jäähdytys) tulee suunnitella yhtenäisenä kokonaisuutena, jotta vältetään esim. samanaikainen jäähdytys ja lämmitys ja muut rinnakkaisten järjestelmien toimintahäiriöt. Kulutuspuolen ja tuotantopuolen lämpötilojen tulee olla yhtenevät. Järjestelmät täytyy suunnitella mahdollisimman yksinkertaisiksi ja siten, että yhden järjestelmän häiriö ei vaikuta toisen toimintaan. Erityisesti suuremmissa maalämpöjärjestelmissä tulee varmistaa maaperän lämpötilan pitkän aikavälin kestävyys lämpöpumpun tehontarve huomioiden, mikä korostaa maaperän todellisten ominaisuuksien selvittämistä TRT-mittauksin ja järjestelmän toiminnan mallintamista dynaamisen simulaation keinoin. Lämpöpumppujen laitekohtaisia asennusongelmia ovat esim. väärä virtausmäärä, kylmäaineen ali/ylitäyttö, virheellinen jännite, termostaattisen paisuntaventtiilin alimitoitus ja tiivistymättömien kaasujen läsnäolo laitteen avaamisen jälkeen (Domanski ym. 2014). Laajemman hybridienergiajärjestelmään haasteisiin kuuluvat mm. jäähdytysjärjestelmän lämpötilaan liittyvät kosteusvaurioriskit, lämmönkeruupiirin vuodot, lämmönjakelun ja -tuotannon lämpötilatasojen epätasapaino, ajojärjestyksen puutteellinen määrittäminen, muutokset energiantarpeessa, järjestelmän huollettavuus ja toiminnallisuus välikauden vaihtelevissa sääolosuhteissa (Hirvonen ym. 2024).

Tavanomaiset järjestelmämitoitukset saattavat helposti tuottaa ylimitoitettua maalämpöjärjestelmän, verrattuna tarkkaan mallinnukseen tai mittaukseen pohjautuvaan arvioon (McMahon ym. 2018). Lämmöntarpeen tarkka mallinnus voi auttaa valitsemaan maltillisemman mitoituksen lämpöpumpulla ja lämmönkeruupiirille sekä välttämään lisäinvestoinnit sähköliittymän vahvistamiseen. ASHRAEn mitoitusmenetelmä maalämpöpiirin mitoittamiseen voi samoin tuottaa tarpeettoman syviä maalämpökaivoja, josta aiheuttaa tarpeettomia kuluja energiahankkeelle (Han ym. 2018).

Jotta tekniset ratkaisut saataisiin toteutettua järjestelmän tarpeiden mukaisesti, täytyy myös toimintatapoihin kiinnittää huomiota. Suunnitteluvaiheessa vaikutetaan merkittävästi järjestelmän lopulliseen toimintaan. Niinpä täytyy varmistaa suunnittelijan hybridienergiaosaaminen ja kenttäkokemus järjestelmien käytännön toteutuksesta. Järjestelmän tuleva ylläpitäjä tulee ottaa mukaan hankkeeseen mahdollisimman aikaisessa vaiheessa, jotta kaikki optimaaliseen käyttöön tarvittavat laitteistot tulevat mukaan toteutukseen. Jatkossa jokaisella järjestelmällä tulisi olla määrätty

vastuuhenkilö, jotta mahdolliset ongelmat saadaan ratkaistua mahdollisimman nopeasti. Käytön ja huollon eri prosesseissa toimivien henkilöiden tulisi pitää säännöllisiä tapaamisia ja kommunikoida yhteisellä alustalla energiatehokkuuden tilan arvioimiseksi. Mittausjärjestelmä tulee kytkeä etäseuranta- ja hallintajärjestelmään, jossa automaattinen analytiikka toimii yhteistyössä ihmisen kanssa. (Hirvonen ym. 2024)

Perinteisessä mallissa hybridienergiajärjestelmän käyttäjä myös omistaa järjestelmän ja huolehtii sen toiminnasta. Nykyään markkinoilla hyödynnetään kuitenkin enenevässä määrin energiapalvelukonseptia (Energy-as-a-Service, EaaS). Energiapalvelussa tilaaja ei itse investoi laitteistoon, vaan erillinen energiapalveluyhtiö (Energy Service COmpany, ESCO) suunnittelee, rakentaa ja operoi järjestelmää, josta tilaaja maksaa vain käyttömaksua kulutuksen mukaan (Borge-Diez ym. 2015). Lämpöpumppujen hankinnan kynnys alentuu, jos järjestelmän voi hankkia ilman korkeita välittömiä investointikustannuksia. Tällaiseen energiapalvelusopimukseen voi kuitenkin kuulua vähimmäiskäyttömääriä, jolla taataan energiaoperaattorin taloudellinen kestävyys (Kircher ja Zhang 2021). Suomessa lämpöpumppujärjestelmiä palvelumallilla toimittavat esimerkiksi St1 (St1, ei pvm.), Leasegreen (LeaseGreen, ei pvm.), Geonova (Geonova, ei pvm.) ja Adven (Adven Finland, ei pvm.). Energiapalvelusopimus voidaan tehdä esimerkiksi 10–30 vuoden ajaksi ja se sisältää järjestelmän suunnittelun ja toteutuksen sekä ylläpidon ja huollon. Palveluoperaattorin intresseissä on pitää järjestelmä toimintakykyisenä ja energiatehokkaana, jotta se voi saada voittoa kiinteään hintaan myytävästä energiasta.

4. Tutkimusmenetelmä

4.1. Asiantuntijahaastattelut

Tutkimuksessa haastateltiin yhteensä 13 eri henkilöä (taulukko 2) maalís- ja huhtikuussa 2025. Haastateltaviin kuului hybridienergiajärjestelmä hankkeiden tilaajia, suunnittelijoita, projektinjohtoa, ja kiinteistöjohtamisen asiantuntijoita eri yrityksistä.

TAULUKKO 2. HAASTATELTAVIEN ORGANISAATIO JA ROOLIT

Haastateltavan organisaatio	Haastateltavan rooli
Suunnittelu	Energia-asiantuntija
Suunnittelu	Projektipäällikkö
Suunnittelu	Johtava energia-asiantuntija
Suunnittelu	Johtava asiantuntija
Suunnittelu	LVI-suunnittelupäällikkö
Tilaaja	Energiapäällikkö
Tilaaja	Kestävyys- ja teknologiapäällikkö
Tilaaja	Ympäristöpäällikkö
Tilaaja	Palveluasiantuntija, kiinteistöjen hallinta
Tilaaja	Projektipäällikkö
Kiinteistöjohtaminen	Ryhmäpäällikkö, energiajohtaminen
Kiinteistöjohtaminen	Johtaja, vastuullisuuspalvelut
Kiinteistöjohtaminen	Elinkaaripalveluiden päällikkö

Haastattelut pidettiin etäyhteyksin Teamsin kautta. Haastattelut nauhoitettiin. Haastattelukysymykset ovat tutkimuksen liitteenä 1.

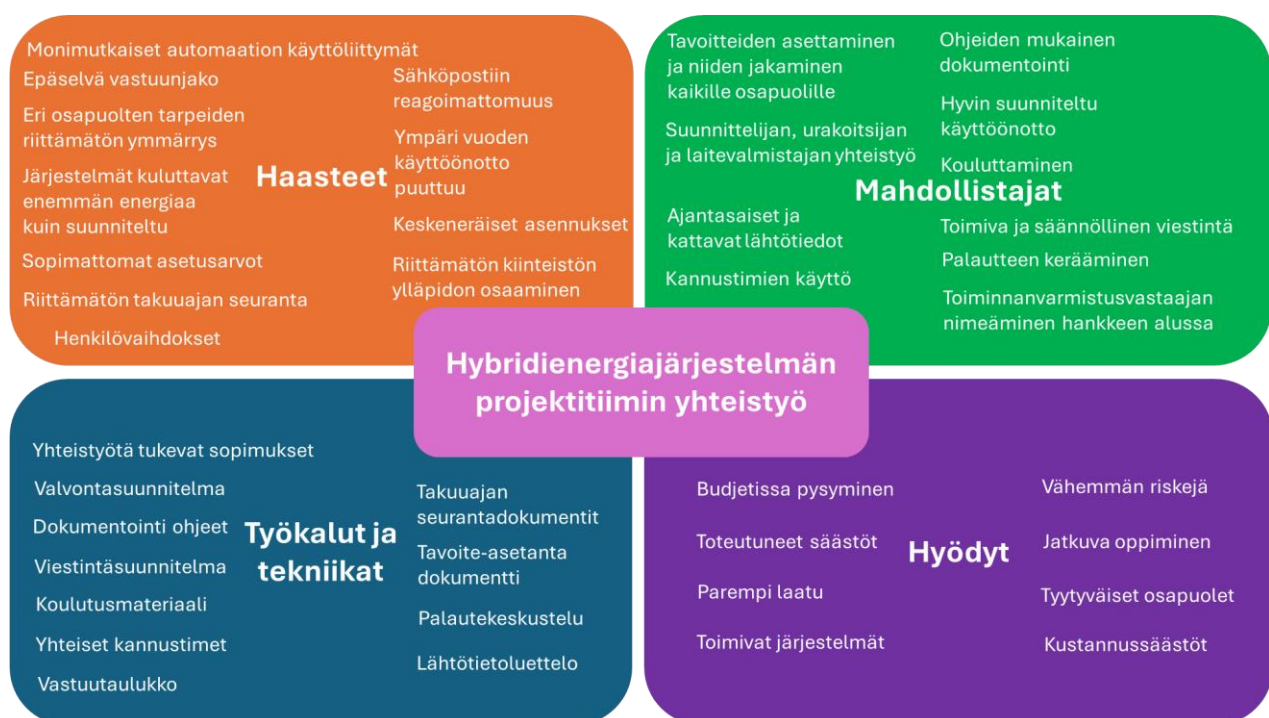
4.2. Asiantuntijatyöpaja

Haastatteluiden perusteella laadittiin toimintamallin luonnos, jota työstettiin lisää talotekniikan tutkimusyksikön sisäisessä työpajassa 26.5.2025. Työpajassa hyödynnettiin työkaluna Microsoft Whiteboardia. Lisäksi toimintamalli lähetettiin vielä kommentoitavaksi haastateltaville, minkä perusteella laadittiin lopullinen toimintamalli.

5. Tutkimustulokset

5.1. Asiantuntijahaastattelujen ja työpajan tulokset

Tässä kappaleessa käydään läpi asiantuntijahaastattelujen ja työpajojen tuloksia, joiden perusteella toimintamalli on rakennettu. Kuvassa 4. on esitetty tiivistettynä asiantuntijahaastattelujen ja työpajan tulokset jaoteltuna haasteisiin, mahdollistajiin, työkaluihin ja hyötyihin hybridiennergiajärjestelmän projektitiimin yhteistyössä.



KUVA 4. HAASTEET, MAHDOLLISTAJAT, TYÖKALUT JA HYÖDYT HYBRIDIENERGIAJÄRJESTELMÄN PROJEKTITIIMIN YHTEISTYÖSSÄ

Asiantuntijahaastattelujen ja työpajan tulosten perusteella toimintamallin keskeisiksi osiksi nousi projektin vastuunjaon selkeyttäminen, käyttäjien ja ylläpidon osaamisen varmistaminen sekä

viestintäkäytäntöjen ja tiedonhallinnan kehittäminen. Näitä teemoja avataan tarkemmin osioissa 5.1.1-5.1.3.

5.1.1. Vastuun selkeyttäminen

Kun hybridienergiajärjestelmä on valmis ja toimintakunnossa, mutta kuluttaa enemmän energiaa kuin on suunniteltu, voi todellisen syyn löytäminen olla haastavaa. Eräs tilaaja totesi myös, että peruskorjauskohteissa tulee vastaan paljon keskeneräistä. Usein tapahtuu niin, että kukaan ei ota vastuuta siinä kohtaa, kun laitteet ovat jo toiminnassa. Useammassa haastattelussa todettiin, että hybridienergiajärjestelmän käyttöönotto vuoden eri aikoina ei ole kenenkään vastuulla. Tämän vuoksi järjestelmä ei välttämättä toimi optimaalisesti talvella, jos käyttöönotto on tehty syksyllä. Sopimukseen tulisi sisällyttää järjestelmän käyttöönotto vuoden eri aikoina, millä varmistetaan, että järjestelmät toimivat optimaalisesti.

Haastatteluissa tuli esiin esimerkki, jossa urakoitsija on käyttänyt suunnittelijan asetusarvoja ja suunnittelija taas toteaa, että arvot ovat vaan ohjeellisia. Kumpikaan ei tällöin ota vastuuta siitä, että järjestelmä kuluttaa enemmän sopimattomien asetusarvojen vuoksi. Urakoitsijoiden kuten lämmitys- ja automaatiourakoitsija, laitetoimittajan ja suunnittelijoiden välillä tarvitaan enemmän yhteistyötä. Haastattelussa todetaan, että suunnittelija ja urakoitsija voisivat yhdessä osallistua järjestelmän käyttöönottoon, ja katsoa kuntoon oikeat asetusarvot ja järjestelmän optimaalinen toiminta.

Urakoitsijat ja suunnittelutoimistot eivät välttämättä ymmärrä sijoittajien tarpeita ja toisinpäin. Muut hankkeen osapuolet toivovat kiinteistön omistajan/tilaajan ja käyttäjien keskustelevan hankkeen tavoitteet selkeäksi keskenään. Esimerkiksi vuokralaisella voi ollakin tarve ilmanvaihdon käyttöaikojen muuttamiselle, mikä vaikuttaa energiansäästöjen arviointiin.

Haasteena pidettiin myös henkilövaihdoksia. Helposti vaihtuva henkilö vie mukanaan tärkeää tietoa eikä ehdi perehdyttää tarpeeksi hyvin uutta henkilöä. Pahimmassa tapauksessa henkilövaihdoksissa asioita voi jäädä hoitamatta. Henkilövaihdoksissa olisi tärkeää panostaa riittävään perehdytykseen uudelle henkilölle.

Työpajassa ilmeni, että hankkeen organisointi ja yhteistyömallit tulisi sopia heti hankkeen alussa ja saada kaikille osapuolille ymmärrys heidän rooleissaan. Sopimuksilla on suuri rooli siinä, että missä kohtaa eri toimijat liittyvät mukaan hankkeeseen. Yhteistoiminnallisissa hankkeissa urakoitsija ja laitevalmistajat ovat mukana jo varhaisessa vaiheessa.

5.1.2. Käyttäjien ja ylläpidon osaamisen varmistaminen

Ammattimaiset kiinteistösijoittajat osaavat useimmiten vaatia, että joku on valtuutettu tekemään takuajan seuranta ja huolehtimaan, että laitteet toimivat ja säästöt toteutuvat. Haastatteluiden perusteella jälkiseuranta ei kuitenkaan aina toteudu.

Nykyajan järjestelmät ovat niin monimutkaisia, että kiinteistön ylläpidolla ei riitä enää osaaminen säätää järjestelmiä. Haastattelun perusteella olisi välttämätöntä, että hybridienergiajärjestelmien optimaalista toimintaa ja säästöjen toteutumista seuraa järjestelmän tuntema ammattilainen myös hankkeen valmistumisen jälkeen. Seuranta voisi olla suunnittelijan, urakoitsijan tai muun ulkoisen palveluntarjoajan vastuulla.

Myös järjestelmien käyttäjien tulisi saada riittävä koulutus järjestelmän ylläpitoon. Monimutkaisissa järjestelmissä vastuu järjestelmän ylläpidosta voisi olla ulkopuolisella taholla tai kiinteistön huoltohenkilöllä tulisi olla hankkeen valmistumisen jälkeen yhteyshenkilö, johon ottaa yhteyttä ongelmatapauksissa. Haastatteluissa nousi myös idea, että automaation käyttöliittymät tulisi kehittää helpommin käytettäviksi järjestelmien ylläpitoa ajatellen.

5.1.3. Viestintäkäytäntöjen ja tiedonhallinnan kehittäminen

Tiedon jakamisessa tärkeimmiksi nousivat selkeät viestintäkanavat (sähköposti, teams), säännölliset kokoukset ja ajantasaiset projektipankit. Sähköpostia pidettiin selkeästi tärkeimpänä viestintäkanavana. Sähköposti koettiin hyvänä tapana myös dokumentoida puhelimessa sovitut asiat. Välillä haasteeksi koettiin, että kukaan ei reagoi lähetettyyn sähköpostiin ja sen vuoksi jopa aikataulu saattaa venyä. Syynä reagoimattomuuteen saattaa olla se, että pelätään joutuvan syylliseksi johonkin. Tämän vuoksi säännöllisiä kokouksia projektitiimin kesken pidettiin parempana tapa ratkoja haastavia asioita. Kokouksissa olisi hyvä olla paikalla suunnittelija, tilaaja ja urakoitsija, jotka käyvät yhdessä läpi viikoittain esiintyneet ajankohtaiset asiat ja haasteet.

Haastatteluissa tuli esille myös käytäntö sähköposteille, mikä voisi parantaa projektin aikaista viestintää. Sähköpostin vastaanottajissa tulisi olla mukana henkilöt, joiden tulee reagoida sähköpostiin ja viestin kopiona mahdollisimman laajasti henkilöitä, joiden olisi hyvä olla tietoisia viestin sisällöstä. Tämä käytäntö pitää kaikki projektissa olevat ajan tasalla siitä, että mitä projektissa tapahtuu.

Teamsiä käytettiin lähinnä yritysten sisällä ja vähemmän koko hankkeen projektitiimin kesken. Teams viesteissä todettiin vaarana, että niitä pystyy jälkeenpäin poistamaan, ja siksi joku tärkeä tieto voi kadota.

Projektipankkeja pidettiin toimivina, mutta olisi tärkeää, että niissä on aina ajantasaiset dokumentit. Muuten voi käydä niin, että joku projektista käyttää lähtötietona dokumenttia, jonka tieto on vanhentunutta.

5.2. Toimintamalli projektitiimin yhteistyöhön

Toimintamalli perustuu tehtyihin asiantuntijahaastatteluihin ja -työpajaan. Lisäksi kehittämisessä on hyödynnetty IPT-mallia viitekehyksenä, erityisesti korostamalla yhteistoiminnallisuutta, integroituja tiimejä ja jatkuvaa kehittämistä projektin kaikissa vaiheissa. Toimintamalli on jaettu kolmeen vaiheeseen: suunnitteluvaihe, toteutusvaihe sekä käyttöönotto ja seuranta.

Toimintamalliin sisältyy eri vaiheiden tavoitteet, niihin liittyvät keskeiset toimenpiteet, tarvittavat dokumentit ja vastuussa oleva taho. Toimintamalli on esitetty kokonaisuudessaan liitteenä 1. Toimintamallin sisältöä projektin eri vaiheissa esitellään seuraavissa luvuissa.

5.2.1. Toimintamalli suunnitteluvaiheessa

Toimintamallin suunnitteluvaiheessa on 1-7 eri tavoitetta ja toimenpidettä vastuutahoineen.

1. Määritellä projektin yhteiset tavoitteet, roolit ja vastuut

Tilaja määrittelee projektin toiveet ja tarpeet. Dokumenttina on vastuutaulukko käyttäen esimerkiksi RACI-matriisia, jossa vastuut on merkattu eri kirjaimilla.

Responsible (R) on henkilö, joka suorittaa tehtävän tai tuottaa lopputuloksen. Henkilö vastaa tehtävän konkreettisesta toteutuksesta ja tekee varsinaisen työn.

Accountable (A) on henkilö, joka vastaa tehtävän valmistumisesta ja hyväksynnästä. Henkilöllä on lopullinen vastuu siitä, että tehtävä tulee tehdyksi ja ajallaan.

Consulted (C) on henkilö, jonka mielipiteet ja asiantuntemus ovat kriittisiä tehtävän toteutuksessa. Heidän palautteensa huomioidaan ennen päätöksentekoa.

Informed (I) on henkilö, joka pidetään ajan tasalla projektin etenemisestä, mutta joka ei osallistu päätöksen tekoon tai toteutukseen. Heille tiedotetaan projektin tilasta, päätöksistä ja edistymisestä. (Matthews 2024).

Alla olevassa taulukossa 3. on yksinkertainen esimerkki RACI-matriisista hybridiennergiahankkeessa.

TAULUKKO 3. ESIMERKKI VASTUUTAUUKOSTA HYBRIDIENERGIAHANKKEESSA RACI-MATRIISINA

Tehtävä	Tilaaja	Suunnittelija	Urakoitsija	Toiminnan- varmistus- vastaava	Valvoja	Yllä- pito	Laite- valmis- taja
Suunnittelu	C	R	C	C	I	I	C
Energia- tehokkuus- tavoitteiden määrittely	C	R	C	C	I	I	C
Laitevalin- tojen teko	I	C	R	I	I	I	C
Varmistaa käyttöön- oton ja ylläpidon toiminta- varmuus	I	C	C	R	R	C	C

2.Varmistaa, että suunnittelu perustuu kattaviin ja ajantasaisiin lähtötietoihin

Tilaaja ja suunnittelija voivat luoda yhdessä standardoidun lähtötietoluettelon, jota käytetään aina joka hankkeessa. Lähtötietojen saannissa tukee myös kiinteistön ylläpito.

3.Laatia toteutuskelpoiset suunnitelmat

Suunnittelijat laativat toteutuskelpoiset suunnitelmat. Sopimusmuodon mukaan esimerkiksi kokonaisvastuurakassa myös urakoitsija voi olla vastuussa suunnittelusta.

4.Varmistaa suunnitelmien toteutettavuus ja tekninen toimivuus

Osallistetaan urakoitsijat ja laitevalmistajat suunnitelmien arviointiin ja toteutettavuuden varmistamiseen.

5.Varmistaa käyttöönoton ja ylläpidon aikainen toiminnanvarmuus

Tilaaja nimeää toiminnanvarmistusvastaavan, joka on mukana hankkeen suunnittelusta takuuajalle asti. Hän huolehtii siitä, että järjestelmät toimivat niin kuin ne on suunniteltu ja ongelmatilanteissa selvittää, että mistä ongelma johtuu ja miten se voidaan ratkoa yhteistyössä muiden osapuolten kanssa.

6.Sitouttaa kaikki keskeiset sidosryhmät yhteisiin tavoitteisiin

Kaikki osapuolet pyritään jo suunnitteluvaiheessa sitouttamaan yhteisiin energiatehokkuus, päästö- ja toiminnallisuustavoitteisiin tavoiteasetanta dokumentissa, joka on kaikkien osapuolten hyväksymä.

7. Määrittää kannustimet

Määritellään sopimuksessa kannustimet, joihin eri osapuolet sitoutuvat esimerkiksi taloudelliset kannusteet.

5.2.2. Toimintamalli toteutusvaiheessa

Toimintamallin suunnitteluvaiheessa on 8-12 tavoitetta ja toimenpidettä vastuutahoineen.

8. Varmistaa projektin toteutus suunnitelmien mukaisesti

Tilaaaja, projektipäällikkö ja urakoitsijat vastaavat projektin toteutuksesta suunnitelmien mukaisesti, mikä on kirjattu sopimukseen.

9. Tehostaa viestintää ja dokumentointia projektin aikana

Projektipäällikkö laatii viestintä- ja dokumentointiohjeistuksen säännöllisen viestinnän ja dokumentoinnin varmistamiseksi.

10. Laadunvarmistus ja riskienhallinta

Valvoja laatii valvontasuunnitelman ja varmistaa laadun ja riskienhallinnan (laitteiden testausraportit).

11. Valmistautua käyttöönottoon ja varmistaa laitteiden toimivuus

Toiminnanvarmistusvastaava suunnittelee ja koordinoi käyttöönoton.

12. Varmistaa laitevalintojen sopivuus ja toimivuus

Urakoitsija varmistaa laitevalintojen sopivuuden. Laittevalmistajat ja suunnittelijat tukevat laitevalinnoissa ja käyttöönotossa.

5.2.3 Toimintamalli käyttöönotto- ja seurantavaiheessa

Toimintamallin käyttöönotto- ja seurantavaiheessa on 13–17 tavoitetta ja toimenpidettä vastuutahoineen.

13. Varmistaa järjestelmän toimivuus ja käyttöönotto

Toiminnanvarmistusvastaava ja urakoitsija vastaavat käyttöönotosta ja järjestelmän testauksesta. Valvoja varmistaa, että urakoitsijat suorittavat käyttöönotot ja keskinäiset toimintakokeet. Valvoja

tarkastaa kytkennät, toimintaselostuksen ja asennukset yhteistyössä suunnittelijan kanssa (suunnitelmakatselmus).

14. Seurata järjestelmän toimintaa ja kerätä palautetta

Toiminnanvarmistusvastaava huolehtii takuuajan seurannan ja mittausjärjestelmien käyttöönotosta sekä järjestelmän ylläpidosta huolehtivan operaattorin valinnasta.

15. Kouluttaa käyttäjät ja varmistaa järjestelmän ylläpito

Toiminnanvarmistusvastaava koordinoi käyttäjien koulutuksen järjestelmien ylläpitoon.

16. Palautteen anto

Projektipäällikkö kerää palautetta ja järjestää palautekeskustelun hankkeeseen osallistuneiden sidosryhmien kanssa.

17. Varmistaa järjestelmän jatkuva kehitys ja ylläpito

Yhteistyötä jatketaan hankkeeseen osallistuneiden sidosryhmien kanssa ja tietoa jaetaan takuuajalla ja sen jälkeen. Tällä tavalla hybridienergiaprojekteja ja järjestelmiä saadaan kehitettyä entistä paremmiksi seuraaviin hankkeisiin eikä tieto jää vain ylläpidolle.

6. Tulosten pohdinta ja yhteenveto

Hybridiennergiajärjestelmillä on merkittävä rooli hiilineutraalin tulevaisuuden rakentamisessa. Järjestelmien nopeasti kasvanut käyttö ja uudet teknologiat ovat tuoneet mukanaan puutteellisesti toimivia järjestelmiä. Monet korjaushankkeet eivät saavuta asetettuja energiansäästötavoitteita puutteellisen yhteistyön vuoksi hankkeen eri osapuolten välillä. Tässä tutkimuksessa kehitettiin toimintamalli projektitiimin yhteistyölle hybridiennergiajärjestelmien toteutukseen korjaushankkeissa.

Tutkimuksessa haastateltiin etäyhteyksin Teamsin välityksellä yhteensä 13 eri asiantuntijaa. Haastateltavat edustivat hybridiennergiahankkeiden keskeisiä toimijoita: tilaajia, suunnittelijoita, projektinjohtoa ja kiinteistöjohtamisen asiantuntijoita. Haastatteluiden perusteella laadittiin toimintamallin ensimmäinen versio, jota kehitettiin edelleen Tampereen yliopiston talotekniikan tutkimusyksikön sisäisessä työpajassa hyödyntäen Microsoft Whiteboardia. Lopuksi toimintamalli lähetettiin kommentoitavaksi alkuperäisille haastateltaville.

Toimintamalli vastaa kirjallisuustutkimuksessa ja haastatteluissa esiin nousseisiin yhteistyön haasteisiin hybridiennergiahankkeissa. Epäselvä vastuunjako nousi yhdeksi keskeisimmistä haasteista, mikä voi johtaa siihen, että kukaan ei ota vastuuta järjestelmässä ilmenneistä ongelmista hankkeen valmistumisen jälkeen. Projektitiimin riittämätön kommunikointi voi aiheuttaa aikataulun venymistä ja projektinjohtollisia haasteita. Lisäksi järjestelmät kuluttavat usein enemmän energiaa kuin suunniteltu, mikä voi johtua esimerkiksi vääristä asetusarvoista, rakennuksen muuttuneesta käytöstä tai projektitiimin sisäisistä viestintähaasteista.

Haastatteluissa korostettiin tarvetta hybridiennergiajärjestelmien ympärivuotiselle käyttöönotolle, jotta niiden toiminta voidaan varmistaa eri sääolosuhteissa. Takuuajan seuranta on usein riittämätöntä, minkä vuoksi järjestelmiä ei käytetä niin kuin ne on suunniteltu. Ylläpidon näkökulmasta järjestelmät koetaan usein liian monimutkaisiksi, eikä kiinteistön ylläpito saa riittävää koulutusta niiden käyttöön. Tämä johtaa useimmiten tarpeeseen käyttää ulkopuolista asiantuntijaa järjestelmän ylläpidossa ja toiminnan optimoinnissa.

Toimintamalliin on sisällytetty hybridiennergiahankkeiden keskeiset toimijat: tilaaja, suunnittelija, urakoitsija, laitevalmistaja, ylläpito, valvoja, projektipäällikkö, käyttäjä sekä uusi rooli, toiminnanvarmistusvastaava. Tutkimuksen tulosten perusteella toiminnanvarmistusvastaava on tarvittava toimija, joka varmistaa järjestelmien käyttöönoton ja ylläpidon aikaisen toimintavarmuuden. Tämä rooli ei ole vakiintunut käytäntö hybridiennergiahankkeissa, mutta sen käyttöönotto voisi ratkaista monia havaittuja ongelmia.

Toimintamalli on jaettu kolmeen osioon:

1. Suunnitteluvaihe

2. Toteutusvaihe

3. Käyttöönotto ja seuranta.

Toimintamallin suunnitteluvaiheessa korostuu projektin yhteisten tavoitteiden, roolien ja vastuiden selkeä määrittely. Hankkeen osapuolet sitoutuvat yhteisiin tavoitteisiin esimerkiksi yhteistoiminnallisten sopimusmallien ja erilaisten kannustimien avulla. Koko projektitiimin osaamista suositellaan hyödynnettävän jo hankkeen varhaisessa vaiheessa.

Viestinnän parantamiseksi hankkeelle suositellaan erillistä viestintäohjeistusta, jota kaikki osapuolet noudattavat. Toiminnanvarmistusvastaava on hankkeessa alusta asti ja toteutusvaiheessa koordinoi eri osapuolten kesken käyttöönoton ja järjestelmien testaamisen. Hän vastaa myös siitä, että järjestelmien ylläpidolle löytyy osaava operaattori käyttöönoton jälkeen ja, että kiinteistön ylläpito saa tarvittavan koulutuksen. Toimintamalliin sisältyy palautteen antoprosessi ja järjestelmien jatkuva kehittäminen, mikä edesauttaa oppimista toteutuneiden hankkeiden kokemuksista.

Tutkimus osoittaa, että toimintamalli tarjoaa potentiaalia parantaa hybridienergiahankkeiden laatua, kustannustehokkuutta ja investointien kannattavuutta. Lisäksi se tukee riskinhallintaa projektin eri vaiheissa, mutta mallin soveltuvuutta erilaisissa urakamuodoissa ja rakennustyypeissä tulisi tarkastella jatkotutkimuksessa.

7. Johtopäätökset

Tutkimuksessa kehitettiin toimintamalli projektitiimin yhteistyöhön hybridienergiajärjestelmien toteutukseen korjaushankkeissa. Toimintamalli perustuu kirjallisuustutkimukseen, asiantuntijahaastatteluihin ja työpajatyöskentelyyn, ja se vastaa tunnistettuihin yhteistyön haasteisiin kuten epäselvään vastuunjakoon, riittämättömään projektitiimin kommunikointiin, puutteelliseen toiminnan varmistukseen ja takuuajan seurantaan sekä ylläpidon riittämättömään osaamiseen. Toimintamalliin sisältyy kaikki hankkeen keskeiset toimijat ja tuo esiin uuden roolin toiminnanvarmistusvastaavan, joka varmistaa järjestelmien toimivuuden ja on mukana hankkeessa alusta ylläpitovaiheeseen asti.

Toimintamallissa korostetaan suunnitteluvaiheen merkitystä, roolien selkeyttämistä, koko projektitiimin osaamisen hyödyntämistä ja yhteistyötä hankkeen aikana sekä viestinnän systematisointia. Toimintamalli on tehty korjausrakentamisen hybridienergiahankkeisiin, mutta sen periaatteet ovat sovellettavissa myös uudiskohteisiin. Jatkotoimenpiteenä suositellaan mallin pilotointia todellisessa hankkeessa, jotta sen käytännön toimivuutta voidaan arvioida ja kehittää edelleen.

Jatkotoimenpiteenä suositellaan mallin pilotointia oikeassa korjaushankkeessa, jossa sen käytännön toimivuutta voidaan arvioida ja kehittää edelleen. Olisi myös tärkeää arvioida mallin soveltuvuutta eri urakkamuotoihin ja rakennustyyppeihin sekä sen kykyä tukea riskienhallintaa käytännön projektityössä. Lisäksi voidaan tutkia mallin vaikutuksia investointien kannattavuuteen ja hankkeiden kustannustehokkuuteen.

Lähteet

- Adven Finland. ei pvm. "Energy as a Service® -kumppanuusmalli". Adven Finland. Viitattu 18. helmikuuta 2025. <https://adven.com/fi/tietoa-meista/energia-palveluna/>.
- Bellanco, I., E. Fuentes, M. Vallès, ja J. Salom. 2021. "A review of the fault behavior of heat pumps and measurements, detection and diagnosis methods including virtual sensors". *Journal of Building Engineering* 39 (heinäkuuta): 102254. <https://doi.org/10.1016/j.jobbe.2021.102254>.
- Borge-Diez, David, Antonio Colmenar-Santos, Clara Pérez-Molina, ja África López-Rey. 2015. "Geothermal source heat pumps under energy services companies finance scheme to increase energy efficiency and production in stockbreeding facilities". *Energy* 88 (elokuuta): 821–36. <https://doi.org/10.1016/j.energy.2015.07.005>.
- Domanski, Piotr, Hugh Hendenrson, ja Vance Payne. 2014. *Sensitivity Analysis of Installation Faults on Heat Pump Performance*. NIST Technical Note No. 1848. National Institute of Standards and Technology.
- EU. 2024. *Euroopan parlamentin ja neuvoston direktiivi (2024/1275) rakennusten energiatehokkuudesta (uudelleenlaadittu)*. No. 1275.
- Geonova. ei pvm. "Maalämpöä palveluna". Geonova. Viitattu 19. helmikuuta 2025. <https://geonova.fi/palvelut/>.
- Han, Zongwei, Biao Li, Shuwei Zhang, Chenguang Bai, ja Honghao Hu. 2018. "Study on design error of ground source heat pump system and its influencing factors". *Applied Thermal Engineering* 144 (marraskuuta): 1030–36. <https://doi.org/10.1016/j.applthermaleng.2018.09.010>.
- Hirvonen, Janne, Natalia Lastovets, Mohamed Elsayed, ja Piia Sormunen. 2024. *Hybridiennergiajärjestelmien riskienhallinta*. HIILINEUTRAALIT ENERGIARATKAISUT JA LÄMPÖPUMPPUTEKNOLOGIA (HYBE).
- ISO 50001 Energy Management systems. 2018. *ISO 50001 - Energy Management Systems*.
- Johannes Simo, Simo Kilpeläinen, ja Risto Kosonen. 2024. "Commissioning Process Is Required to Guarantee High Performance of Hybrid Systems". *The REHVA European HVAC Journal*, helmikuuta. <https://www.rehva.eu/rehva-journal/chapter/commissioning-process-is-required-to-guarantee-high-performance-of-hybrid-systems>.
- Kircher, Kevin J., ja K. Max Zhang. 2021. "Heat purchase agreements could lower barriers to heat pump adoption". *Applied Energy* 286 (maaliskuuta): 116489. <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2021.116489>.
- LeaseGreen. ei pvm. "Maalämpö Taloyhtiöön | LeaseGreen". Viitattu 18. helmikuuta 2025. <https://leasegreen.com/taloyhtiöt/maalampotaloyhtioon>.

- Matthews, Bradon. 2024. "What Is a RACI Matrix? Definition, Examples, Uses". *Project Management*, huhtikuuta 19. <https://project-management.com/understanding-responsibility-assignment-matrix-raci-matrix/>.
- McMahon, Richard, Hugo Santos, ja Zenaida Sobral Mourão. 2018. "Practical considerations in the deployment of ground source heat pumps in older properties—A case study". *Energy and Buildings* 159 (tammikuuta): 54–65. <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2017.08.067>.
- Moradi, Sina, Janne Hirvonen, Natalia Lastovets, ja Piia Sormunen. 2023. *Exploring and Overcoming Challenges of Project Design and Delivery in Constructing and Renovating Energy Efficient Buildings*. Research report.
- Mosaad, S. A. A., U. H. Issa, ja M. Salah Hassan. 2018. "Risks affecting the delivery of HVAC systems: Identifying and analysis". *Journal of Building Engineering* 16 (maaliskuuta): 20–30. <https://doi.org/10.1016/j.job.2017.12.004>.
- Nazari-Heris, Morteza, Atefeh Tamaskani Esfehankalateh, ja Pouya Ifaei. 2023. "Hybrid Energy Systems for Buildings: A Techno-Economic-Enviro Systematic Review". *Energies* 16 (12): 12. <https://doi.org/10.3390/en16124725>.
- Niemelä, Tuomo, ohj. 2025. *Lämpöpumppukurssin asiantuntijakoulutus*. Hanke- ja järjestelmäsuunnittelu,.
- Niemelä, Tuomo, Karoliina Levy, Risto Kosonen, ja Juha Jokisalo. 2017. "Cost-optimal renovation solutions to maximize environmental performance, indoor thermal conditions and productivity of office buildings in cold climate". *Sustainable Cities and Society* 32 (heinäkuuta): 417–34. <https://doi.org/10.1016/j.scs.2017.04.009>.
- Pirhonen, Jere, ohj. 2025. *Lämpöpumppukurssin asiantuntijakoulutus*. Urakointi ja käyttöönotto.
- Rakennustieto Oy. 2021. *RT 103368 Asuntoyhtiön korjaushanke*.
- Rakentaja PRO. 2025. <https://rakentaja.pro/artikkelit/yhteistoiminnallista-vai-ei-nain-vastuut-jakautuvat-eri-urakkamuodoissa/>. *Yhteistoiminnallista vai ei näin vastuut jakautuvat eri urakkamuodoissa*.
- RAKLI, ja Vison Oy. 2022. *IPT-pelikirja 2.0*.
- Sina Moradi, Janne Hirvonen, Natalia Lastovets, ja Piia Sormunen. 2023. *Exploring and Overcoming Challenges of Project Design and Delivery in Constructing and Renovating Energy Efficient Buildings*. Research report.
- Sivula, Timo-Mikael, ohj. 2025. *Lämpöpumppukurssin asiantuntijakoulutus*. Urakointi ja käyttöönotto.
- St1. ei pvm. "Maalämpö palveluna - St1 Lähilämpö". Viitattu 18. helmikuuta 2025. <https://www.st1.fi/yrityksille/tuotteet-ja-palvelut/st1-lahienergia/st1-lahilampo>.

Talokeskus. 2025. *Korjaushankkeiden urakkamuodot taloyhtiössä*. <https://www.talokeskus.fi/uutiset-ja-artikkelit/korjaushankkeiden-urakkamuodot-taloyhtiössä>.

Tiusanen, Pirita, Johanna Savolainen, Arja Korhonen, Mari Sohlman, ja Anna Koskenkorva. ei pvm. *Hankemalliopas YIT*.

Vison Oy. 2020. "IPT-mallien perusteet".

Xu, Xiaoxiao, Clyde Zhengdao Li, Jiayuan Wang, ja Wenke Huang. 2019. "Collaboration between Designers and Contractors to Improve Building Energy Performance". *Journal of Cleaner Production* 219 (toukokuuta): 20–32. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2019.02.036>.

Liite 1. Asiantuntijahaastattelun kysymykset

A. Tausta

- A1. Mikä on roolisi, tyypilliset tehtäväsi ja vastuualueesi hybridienergiajärjestelmän toteutuksessa?
- A2. Minkä tyyppisten hybridienergiajärjestelmien kanssa työskentelet?

B. Vastuu

- B1. Mitä eri toimijoita hybridienergiajärjestelmän toteuttamisessa on mukana suunnittelusta käyttöönottovaiheeseen asti?
- B2. Miten eri toimijoiden vastuut jakaantuvat, ylittävätkö vastuualueet toisiaan ja millä tavalla?
- B3. Miten eri toimijoiden vastuita ja vastuurajoja voitaisiin selkeyttää ja parantaa?

C. Yhteistyö

- C1. Kenen kanssa ja minkälaista yhteistyötä teet hybridienergiajärjestelmän toteuttamisessa?
- C2. Mitkä ovat keskeiset haasteet hybridienergiajärjestelmän projektitiimin yhteistyössä ja tavoitteiden saavuttamisessa?
- C3. Keiden osapuolten välillä tarvitaan lisää yhteistyötä ja millä tavalla?
- C4. Minkälaisia kannustimia voisi olla yhteistyön parantamiseksi?

D. Tiedonvälitys

- D1. Mitä ja miten erilaista tietoa välitetään eri toimijoiden välillä?
- D2. Puuttuuko sinulta tarvittavia lähtötietoja hybridienergiajärjestelmän toimivaan toteutukseen? Mitkä lähtötiedot auttaisivat sinua omassa tehtävässäsi?

E. Tekniset asiat

- E1. Minkälaisia teknisiä haasteita syntyy yhteistyön ja kommunikaation puutteesta? Kerro halutessasi järjestelmäkohtaisesti.

F. Muuta

- F1. Mitä muuta haluaisit korostaa yhteistyön parantamisessa?

Liite 2. Projektitiimin toimintamalli

SUUNNITTELUVAIHE											
Tavoitteet	Keskeiset toimenpiteet	Dokumentti	Vastuussa oleva								
			Tilaaaja	Suunnittelija	Urakoitsija	Toiminnan-varmistus-vastaava	Laite-valmistaja	Projekti-päällikkö	Valvoja	Ylläpito	Käyttäjä
1.Määritellä projektin yhteiset tavoitteet, roolit ja vastuut	Tilaaaja määrittelee projektin toiveet ja tarpeet.	Vastuutaulukko	X								
2. Varmistaa, että suunnittelu perustuu kattaviin ja ajantasaisiin lähtötietoihin	Kootaan tarvittavat lähtötiedot hyödyntäen standardoitua lähtötietoluetteloa.	Lähtötietoluettelo	X	X						X	
3.Laatia toteutuskelpoiset suunnitelmat	Suunnittelijat laativat toteutuskelpoiset suunnitelmat.	Suunnitelmat		X							
4.Varmistaa suunnitelmien toteutettavuus ja tekninen toimivuus	Osallistetaan urakoitsijat ja laitevalmistajat suunnitelmien arviointiin ja toteutettavuuden varmistamiseen.	Sopimus		X	X		X				
5.Varmistaa käyttöönoton ja ylläpidon aikainen toiminnanvarmuus	Tilaaaja nimeää toiminnanvarmistusvastaavan, joka on mukana hankkeen suunnittelusta takuuajalle asti.	Sopimus	X			X					
6.Sitouttaa kaikki keskeiset sidosryhmät yhteisiin tavoitteisiin	Määritellään yhteiset energiatehokkuus-, päästö- ja toiminnallisuus-tavoitteet ja jaetaan ne kaikille osapuolille.	Tavoite-asetanta dokumentti	X	X	X	X					
7. Määrittää kannustimet	Määritellään kannustimet, joihin eri osapuolet sitoutuvat.	Sopimus	X	X	X	X					

TOTEUTUSVAIHE											
Tavoitteet	Keskeiset toimenpiteet	Dokumentti	Vastuussa oleva								
			Tilaaaja	Suunnittelija	Urakoitsija	Toiminnan- varmistus- vastaava	Laite- valmistaja	Projekti- päällikkö	Valvoja	Ylläpito	Käyttäjä
8.Varmistaa projektin toteutus suunnitelmien mukaisesti	Tilaaaja, projektipäällikkö ja urakoitsijat vastaavat projektin toteutuksesta suunnitelmien mukaisesti.	Sopimus	X		X			X			
9.Tehostaa viestintää ja dokumentointia projektin aikana	Projektipäällikkö laatii viestintä- ja dokumentointiohjeistuksen säännöllisen viestinnän ja dokumentoinnin varmistamiseksi.	Viestintä- ja dokumentointi ohjeistus						X			
10.Laadunvarmistus ja riskienhallinta	Valvoja laatii valvontasuunnitelman ja varmistaa laadun ja riskienhallinnan.	Valvonta-suunnitelma Laitteiden testausraportit							X		
11.Valmistautua käyttöönottoon ja varmistaa laitteiden toimivuus	Toiminnanvarmistus-vastaava suunnittelee ja koordinoi käyttöönoton.	Käyttöönoton valmistelu- dokumentit				X					
12.Varmistaa laitevalintojen sopivuus ja toimivuus	Urakoitsija varmistaa laitevalintojen sopivuuden. Laitevalmistajat ja suunnittelijat tukevat laitevalinnoissa ja käyttöönotossa.			X	X		X				

KÄYTTÖÖNOTTO JA SEURANTA											
Tavoitteet	Keskeiset toimenpiteet	Dokumentti	Vastuussa oleva								
			Tilaaaja	Suunnittelija	Urakoitsija	Toiminnan- varmistus- vastaava	Laite- valmistaja	Projekti- päällikkö	Valvoja	Ylläpito	Käyttäjä
13.Varmistaa järjestelmän toimivuus ja käyttöönotto	Toiminnanvarmistusvastaava ja urakoitsija vastaavat käyttöönotosta ja järjestelmän testauksesta.	Käyttöönoton dokumentit			X	X					
	Valvoja varmistaa, että urakoitsijat suorittavat käyttöönotot ja keskinäiset toimintakokeet.	Käyttöönoton dokumentit			X				X		
	Valvoja tarkastaa kytkennät, toimintaselostus ja asennukset yhteistyössä suunnittelijan kanssa (suunnitelma-katselmus).	Suunnitelma-katselmus		X					X		
14.Seurata järjestelmän toimintaa ja kerätä palautetta	Toiminnanvarmistus-vastaava huolehtii takuuajan seurannan ja mittausjärjestelmien käyttöönotosta sekä järjestelmän ylläpidosta huolehtivan operaattorin valinnasta.	Seuranta-dokumentit				X					
15.Kouluttaa käyttäjät ja varmistaa järjestelmän ylläpito	Toiminnanvarmistusvastaava koordinoi käyttäjien koulutuksen järjestelmien ylläpitoon.	Koulutus-materiaalit				X				X	X
16.Palautteen anto	Projektipäällikkö kerää palautetta ja järjestää palautekeskustelun hankkeeseen osallistuneiden sidosryhmien kanssa.	Takuuajan seuranta-dokumentit						X		X	X
17. Varmistaa järjestelmän jatkuva kehitys ja ylläpito	Yhteistyö hankkeeseen osallistuneiden sidosryhmien kanssa ja tiedon jakaminen takuuajalla ja sen jälkeen.	Yhteistyö-dokumentit	X								