

TALOTEKNIikka 2030-

Rakennusautomaatiosuunnittelun tietosisällön ja esitystavan kehittäminen rakennuksen elinkaaren näkökulmasta

Kirjoittajat:

Aalto-yliopiston tutkimusapulainen Tuomas Kerminen, sekä tutkijat Risto Kosonen ja Heikki Ihasalo



TALO|20
tekniikka|30

Alkusanat

Tämän projektin toteutuksesta on vastannut Aalto-yliopiston tutkijaryhmä: Tuomas Kermi-
nen, Risto Kosonen ja Heikki Ihasalo.

Työn aikana järjestettyihin työpajoihin ovat osallistuneet aktiivisesti yrityskonsortion edusta-
jat sekä muut hankkeen asiantuntijat. Työpajojen osallistujat on esitetty alla.

Asp Risto	Sähköinfo Oy
Hagström Kim	Halton Oy
Hyvärinen Juhani	Talteka Ry
Hyvönen Tanja	Granlund Oy
Jalo Mikko	Helsingin yliopisto kiinteistöpalvelut Oy
Karhu Jukka	Granlund Oy
Kähärä Aleksi	ETS Nord
Ketomäki Jaakko	Aalto-yliopisto
Lievonen Heikki	Puolustuskiinteistöt
Meri Timo	Bravida Oy
Nieminen Jesse	Acre
Rousu Antti	Optimation Finland Oy
Siltala Sanni	Sweco Finland Oy
Tuomisto Tero	A-insinöörit Oy
Ylitalo Jesse	Granlund Oy

Haluan myös kiittää kaikkia työhön osallistuneita haastateltavia heidän ajastaan, asiantunte-
muksestaan ja arvokkaista näkemyksistään. Haastattelut tarjosivat tärkeän käytännön näkö-
kulman rakennusautomaatiosuunnittelun nykytilaan ja kehitystarpeisiin.

Kiitos kaikille hankkeeseen osallistuneille.

Espoossa 30.6.2026

Tekijät

Raportin kansikuva: ChatGPT/Tuomas Kerminen

Sisällysluettelo

Alkusanat.....	2
1. Johdanto	4
2. Rakennusautomaatiosuunnitelmien esitysmuodot.....	5
2.1 Kansainväliset standardit	6
2.2 Teollisuuden käytäntö.....	9
2.3 Nykyinen esitysmuoto ja sen haasteet.....	10
2.4 Suunnitelmien koneluettavuus, semantiikka ja tietoturva.....	15
3. Tutkimusaineisto ja -metodit	20
4. Tulokset.....	22
4.1 Rakennusautomaatiosuunnittelun nykytila.....	22
4.2 Rakennusautomaatiosuunnittelun toimintamalli.....	26
5. Pohdinta.....	32
5.1 Toimintamallin käytännön sovellettavuus.....	32
5.2 Käyttöönoton edellytykset ja vastuunjako	33
5.3 Jatkotoimenpiteet	35
6. Yhteenveto	37
Lähdeluettelo	39

1. Johdanto

Rakennusautomaatiojärjestelmien merkitys rakennusten toiminnan, energiatehokkuuden ja sisäolosuhteiden hallinnassa on kasvanut merkittävästi. Rakennusautomaatio ei enää rajoitu yksittäisten teknisten järjestelmien ohjaukseen, vaan se muodostaa keskeisen osan rakennuksen energianhallintaa, ylläpitoa, käyttäjäolosuhteiden hallintaa ja älyrakennusratkaisuja. Samalla rakennusten tekniset järjestelmät ovat monimutkaistuneet ja rakennusautomaation tuottamaa dataa hyödynnetään yhä laajemmin esimerkiksi analytiikassa, kunnossapidossa ja optimoinnissa.

Rakennusautomaatiosuunnitelmien tietosisältö ja esitystavat perustuvat kuitenkin edelleen suurelta osin perinteisiin dokumenttipohjaisiin käytäntöihin. Suunnitelmat palvelevat usein ensisijaisesti hankintaa, urakkarajausta ja toteutusta, mutta niiden käyttöarvo voi heikentyä käyttöönoton, ylläpidon ja rakennuksen elinkaaren aikaisen tiedonhallinnan näkökulmasta. Tietoa esitetään usein ihmiselle luettavassa muodossa, kuten kaavioissa, pistelistoissa ja tekstimuotoisissa toimintaselostuksissa, mutta sitä ei aina tuoteta rakenteisessa tai koneluettavassa muodossa.

Tämän raportin tavoitteena on tiivistää diplomityössä tunnistetut rakennusautomaatiosuunnittelun kehitystarpeet ja esittää toimintamalli, jolla suunnittelutiedon hyödynnettävyyttä voidaan parantaa rakennuksen koko elinkaaren aikana. Raportissa vastataan seuraaviin tutkimuskysymyksiin:

TK1: Mitkä ovat rakennusautomaatiosuunnitelmien nykyisten esitystapojen ja tietosisältöjen keskeiset haasteet rakennushankkeen eri vaiheissa?

TK2: Millaiset tietosisällöt, kuvaustavat ja tiedonhallintakäytännöt tukevat rakennusautomaatiotiedon hyödyntämistä rakennuksen koko elinkaaren aikana?

TK3: Miten rakennusautomaatiosuunnittelun tiedonhallintaa, koneluettavuutta ja ylläpidettävyyttä voidaan parantaa?

Raportissa tarkastellaan erityisesti tiedon kuvaamistapaa, semanttista nimeämistä, koneluettavia tietosisältöjä, versionhallintaa ja laadunvarmistusta. Tavoitteena ei ole korvata nykyisiä rakennusautomaatiosuunnitelmia, vaan täydentää niitä siten, että suunnittelussa tuotettu tieto palvelisi paremmin myös toteutusta, käyttöönottoa, ylläpitoa ja rakennusautomaatiojärjestelmien tuottaman datan jatkohyödyntämistä.

2. Rakennusautomaatiosuunnitelmien esitysmuodot

Tässä luvussa tarkastellaan rakennusautomaatiosuunnitelmien esitysmuotoja Suomessa ja kansainvälisesti. Tarkastelun tavoitteena on muodostaa kokonaiskuva siitä, miten suunnittelutieto esitetään ja millaisia rakenteellisia piirteitä dokumentaatiokäytännöissä esiintyy.

Rakennusautomaatiojärjestelmät ovat kehittyneet viime vuosikymmeninä merkittävästi. Niiden rooli on laajentunut pelkästä teknisestä säätöjärjestelmästä osaksi rakennuksen kokonaisvaltaista energianhallintaa, sisäolosuhteiden optimointia ja järjestelmien digitaalista ylläpitoa. Samalla myös rakennusautomaatiosuunnitelmien esitystavan merkitys on kasvanut. Rakennusautomaatiosuunnitelmien kaavioita tarvitaan palvelemaan laajempaa kokonaisuutta, kuten urakkalaskentaa, toteutusta, sekä loppukäyttäjien tarpeita. Käytännössä suunnitelmat painottuvat kuitenkin edelleen pääosin urakka-asiakirjojen laadintaan ja toteutuksen avuksi. Suunnitelmien tulisi muodostaa keskeinen tiedollinen perusta rakennusautomaatiojärjestelmän toteutukselle, käyttöönotolle, ylläpidolle ja jatkokehitykselle.

Rakennusautomaatiosuunnitelmien esitystavat ovat perinteisesti perustuneet kaaviomuotoiseen dokumentointiin. Järjestelmäkaaviot ja säätökaaviot kuvaavat laitteet, anturit, toimilaitteet sekä niiden väliset kytkennät ja niiden ohjausperiaatteet. Näitä täydentää toimintaselosetus, jossa järjestelmän toiminta kuvataan sanallisesti eri käyttötilanteissa.

Useissa kansallisissa ohjeistuksissa, kuten LVI RYL -laatuvaatimuksissa [1], sekä kunnallisissa suunnitteluohjeissa [2], [3], korostetaan näiden dokumenttien merkitystä osana urakka-asiakirjoja ja luovutusaineistoa. Dokumentoinnin tavoitteena on varmistaa selkeä vastuunjako, toteutuksen yksiselitteisyys ja järjestelmän ylläpidettävyys.

Kansainvälisessä ohjeistuksessa dokumentointiin suhtaudutaan usein vielä systemaattisemmin. Esimerkiksi yhdysvaltalaisissa [4] ja saksalaisissa ohjeissa [5] [6] korostuvat yksityiskohdalliset sekvenssikuvaukset, piste- ja objektitietojen rakenteinen esittäminen sekä verkkoarkkitehtuurin tarkka dokumentointi. Myös SFS-EN ISO 16484 -sarja [7] määrittelee rakennusautomaatiojärjestelmien projektispesifikaation ja toteutuksen dokumentaatiovaatimuksia koko elinkaaren ajalle. Näissä lähteissä dokumentointi nähdään osana järjestelmän hallittua suunnitteluprosessia eikä pelkästään lopputuloksena syntyvänä aineistona.

Digitalisaation myötä esitystapaan liittyvä keskustelu on laajentunut koneluettavuuteen ja tietomallipohjaiseen suunnitte-luun. Rakennuksen suunnittelutieto tuotetaan yhä useammin BIM-mallina (Building Information Modelling), jossa fyysiset rakennusosat kuvataan raken-

teisesti IFC-standardin mukaisesti [8]. Kyseinen BIM-malli on myös jo usean kiinteistönomistajan vaatimuksena. Rakennusautomaatiojärjestelmät puolestaan hyödyntävät esimerkiksi BACnet-standardin [9] mukaista objektimallia. Näiden tietomallien välillä ei kuitenkaan useinkaan ole suoraa semanttista yhteyttä, mikä johtaa tiedon siiloutumiseen. Kirjallisuudessa on tunnistettu, että pelkkä digitaalinen muoto (esimerkiksi PDF) ei tee suunnitelmasta kone-luettavaa, vaan tiedon tulee olla rakenteisesti määriteltyä ja standardisoitua.

Samalla älyrakennusten (Smart Building) ja IoT-ratkaisuiden yleistyminen on tuonut mukanaan tietoturvallisuuden näkökulman. Rakennusautomaatiojärjestelmät eivät enää toimi erillisinä suljettuina järjestelminä, vaan ne integroituvat laajempiin verkkoihin ja pilvipalveluihin. Tämä kehitys lisää tarvetta selkeälle ja yhdenmukaiselle dokumentoinnille, jossa määritellään paitsi toiminnalliset ratkaisut myös verkkoarkkitehtuuri, protokollat ja vastuut. Kirjallisuudessa korostetaan, että suunnitelmadokumentaation tulisi tukea myös kyberturvallisuuden hallintaa ja elinkaaren aikaista jäljitettävyyttä [10].

Rakennuksen omistajien ja käyttäjien dokumentaatiotarpeisiin ei ole nykyisissä suunnittelukäytännöissä kiinnitetty riittävästi huomiota. Rakennusten loppukäyttäjille luovutettavan dokumentaation taso vaihtelee suunnittelutoimistosta riippuen. Luovutettavat suunnitelmat eivät aina vastaa kohteen toteutunutta rakennusautomaatiojärjestelmää. Ajantasaiset suunnitelmat ja yhtenäiset nimeämiskäytännöt ovat keskeisiä loppukäyttäjien ja ylläpidon tarpeiden näkökulmasta.

2.1 Kansainväliset standardit

Tässä luvussa tarkastellaan keskeisiä kansainvälisiä standardeja ja ohjeistuksia rakennusautomaatiosuunnitelmien esitystavan ja tietosisällön näkökulmasta. Standardit tarjoavat yhtenäisen kehyksen esimerkiksi dokumentaatiovaatimuksille, vastuunjaolle, pistetietojen esittämiselle, järjestelmäarkkitehtuurille ja elinkaaren aikaiselle tiedonhallinnalle. Tarkastelun tavoitteena on tunnistaa, millaisia periaatteita kansainväliset käytännöt tarjoavat rakennusautomaatiosuunnittelun tietosisällön kehittämiseen.

2.1.1 SFS-EN ISO 16848-sarja

SFS-EN ISO 16844-1:2024 määrittelee rakennusautomaatio- ja kiinteistöautomaatiojärjestelmien (BACS) projektispesifikaation ja toteutuksen dokumentaatiovaatimuksia rakenteisella tavalla. Standardi korostaa, että teknisen eritelmän tulee kattaa hankkeen keskeiset tarpeet ja että suunnitteluvastuut tulee määritellä selkeästi. Standardissa käsitellään esimerkiksi hankkeen laajuutta, järjestelmien ja laitteiden määrittelyä, toiminnallisia kuvauksia, pisteluetteiloita, nimeämis- ja osoiteperiaatteita sekä käyttöönottoon liittyviä vaatimuksia [7].

Standardin näkökulmasta dokumentoinnin tulee kulkea mukana koko projektin ajan suunnittelusta käyttöönottoon ja ylläpitoon asti. Urakoitsijan toimitettaviin suunnitelmiin kuuluvat esimerkiksi järjestelmäarkkitehtuuri, päivitetty toimintaselostus, pisteluettelo sekä muut hankkekohtaisesti vaaditut dokumentit. Lisäksi projektikohtainen aineisto tulee luovuttaa toteumadokumentteina, jotta järjestelmää voidaan käyttää ja ylläpitää turvallisesti ja suunnitellulla tavalla koko elinkaaren ajan [7].

Tämän työn näkökulmasta SFS-EN ISO 16484-1 antaa hyvän hallinnollisen kehyksen rakennusautomaatiojärjestelmän dokumentaatiolle, vastuunjaolle ja elinkaaren aikaiselle tiedonhallinnalle. Standardi ei kuitenkaan yksin määrittele esimerkiksi tiedonsiirtorajapintoja, tietoturva vaatimuksia, koneluettavia tiedostomuotoja tai semanttisia nimeämiskäytäntöjä. Näiden osalta sitä tulee täydentää hankekohtaisilla vaatimuksilla ja muilla soveltuvilla määrityksillä, kuten tietoturvaan, rajapintoihin ja koneluettaviin formaatteihin liittyvillä vaatimuksilla [7], [11], [12].

2.1.2 ASHRAE Guideline 13

ASHRAE Guideline 13 esittää käytännönläheisen mallin rakennusautomaatiojärjestelmän (BAS) sopimusasiakirjojen laatimiselle. Ohjeen lähtökohtana on, että hankkeen laajuuden määrittelyn jälkeen suunnittelija etenee järjestelmällisesti kohti valmiita urakka-asiakirjoja. Ohjeessa korostuvat erityisesti järjestelmäkohtaisten periaatekaavioiden, toimintaselistusten sekä piste- ja objektipistelistojen laatiminen [4].

Ohjeen mukaan jokaisesta järjestelmästä tulisi esittää sen toiminnallinen rakenne, keskeiset säätö- ja ohjauskomponentit sekä järjestelmän toiminta eri käyttötilanteissa. Toimintaselistuksessa kuvataan esimerkiksi käyttö- ja poissaolotilat, kesä- ja talvikäyttö, palohälytys, sähkökatko sekä mahdolliset vikatilanteet. Pistelistasta puolestaan toimii suunnittelun ja toteutuksen välisenä siltana, koska se määrittää, mitä urakoitsijan tulee toimittaa ja mitä pisteitä järjestelmässä tulee olla [4].

Tämän työn näkökulmasta ASHRAE Guideline 13 tarjoaa hyvän vertailukohdan rakennusautomaatiosuunnitelmien esitystavan ja toimintaselistusten kehittämiseksi. Ohjeen vahvuus on sen käytännönläheisyys ja yhteys urakka-asiakirjojen laadintaan. Ohje tukee urakkarajojen selkeyttämistä, tarjouslaskennan yhdenmukaistamista ja toteutuksen ymmärrettävyyttä.

Ohje ei kuitenkaan käsittele laajasti esimerkiksi semanttista yhteentoimivuutta, koneellisesti hyödynnettäviä tietomalleja tai suunnittelutiedon versionhallintaa. Tämän vuoksi ASHRAE-tyyppiset kaaviot ja toimintaselistukset eivät yksin riitä ratkaisemaan suurten tai useita toimittajia sisältävien hankkeiden tiedonhallinnan ongelmia. Kansainvälisessä käytössä ohjeen suositukset tulee lisäksi sovittaa paikallisiin normeihin, nimikkeistöihin ja hankekohtaisiin tietoturva- ja tiedonhallintavaatimuksiin [4], [11], [12].

2.1.3 VDI 3814 ja VDI 6026

Saksassa rakennusautomaatiojärjestelmien dokumentointia ohjaavat vahvasti tekniset ohjeistot, joista keskeisimpiä ovat VDI 3814 ja VDI 6026. VDI 3814 käsittelee rakennusautomaation (Gebäudeautomation) toiminnallisia vaatimuksia, järjestelmäarkkitehtuuria ja automaatiotoimintojen määrittelyä, ja se toimii suunnittelun ja toteutuksen perustana erityisesti julkisissa ja laajoissa hankkeissa. Ohjeessa korostetaan järjestelmällistä toimintojen erittelyä (Funktionssbeschreibung), pisteiden ja signaalien määrittelyä sekä hierarkkista rakennetta kenttätasolta hallintatasolle. Dokumentaatioissa painottuu selkeä järjestelmäkuvaus, jossa automaatiotoiminnot esitetään loogisina kokonaisuuksina eikä pelkästään laite- tai kaaviokeskeisesti [5], [6].

VDI 6026 puolestaan määrittelee teknisten taloteknisten järjestelmien suunnitteludokumenttaation rakenteen ja vaiheistuksen, mukaan lukien vastuunjaon eri suunnitteluvaiheissa (Leistungphasen) sekä dokumenttien sisällölliset vähimmäisvaatimukset. Saksalaisessa käytännössä dokumentointi on usein standardoitua ja formaattiohjattua: toimintaselostukset, kaaviot ja pisteluettelot laaditaan yhtenäisten nimikkeistöjen ja tunnusjärjestelmien mukaisesti, mikä tukee eri suunnittelualojen välistä koordinoitua. Verrattuna suomalaiseen käytäntöön dokumentaatiota ohjaa Saksassa vahvemmin normatiivinen VDI-järjestelmä, mikä näkyy erityisesti toiminnallisen määrittelyn systemaattisuutena ja dokumenttien rakenteellisena yhdenmukaisuutena [5], [6].

VDI:n perusteellinen standardointi parantaa yhteentoimivuutta ja dokumentaation uudelleenkäyttöä, mutta vaatii organisaatioilta panostusta nimeämiskäytäntöihin ja ylläpitoprosesseihin [5], [6]. Pienissä projekteissa kustannushyötysuhde voi olla epäedullinen. Lisäksi VDI:n nimikkeistöt tulee projekteissa linkittää kansainvälisiin tiedonsiirto- ja metatietomäärittelyihin, kuten BACnet-objektityypit, OPC UA -metadata, jotta tietomallit ovat aidosti yhteensopivia [9].

2.1.4 Kansainvälisien standardien vertailu

Edellä käsitelty kansainväliset standardit ja ohjeistukset painottavat rakennusautomaatio-suunnittelua hieman eri näkökulmista. Osa lähteistä keskittyy projekti-specifikaatioihin ja dokumentaation hallintaan, osa toimintaselostuksiin ja urakka-asiakirjoihin, ja osa järjestelmien toiminnalliseen määrittelyyn sekä dokumentaation vaiheistukseen. Taulukossa 1 on koottu näiden lähteiden keskeiset erot ja arvioitu niiden merkitystä tietosisällön esittämiseen.

Taulukko 1. Kansainvälisten standardien ja ohjeistusten vertailu rakennusautomaatiosuunnittelun tietosisällön esittämisen kannalta.

Standardi / ohje	Standardi määrittää	Vahvuus	Rajoite	Merkitys tietosisällön esittämiseen
SFS-EN ISO 16484-1:2024	Rakennusautomaatiojärjestelmän projektispecificaatio, vastuunjakoon ja dokumentaation elinkaaren aikainen hallinta.	Antaa selkeän rakenteen dokumentaation sisällölle, hyväksynnälle ja toteutadokumentaatiolle.	Jättää tekniset rajapinnat, koneluettavat formaatit ja semanttisen nimeämisen pitkälti hankekohtaisesti määriteltäviksi.	Toimii hyvänä lähtökohtana rakennusautomaatiosuunnittelun vähimmäisisällön ja elinkaarinäkökulman määrittelylle.
ASHRAE Guideline 13	Rakennusautomaatiojärjestelmän urakka-asiakirjojen, periaatekaavioiden, pistelistojen ja toimintaselostusten laatiminen.	Käytännönläheinen ohje, joka tukee tarjouslaskentaa, urakkarajausta ja toteutuksen ymmärrettävyyttä.	Painottuu erityisesti toteutus- ja urakkavaiheeseen eikä käsittele laajasti koneluettavuutta tai semanttista yhteentoimivuutta.	Tarjoaa hyvän vertailukohdan suunnitelmien esitystavan ja toimintaselostusten kehittämiseksi.
VDI 3814	Rakennusautomaation toiminnalliset vaatimukset, automaatiotoiminnot ja järjestelmien looginen kuvaus.	Korostaa toimintojen systemaattista määrittelyä ja yhtenäisiä periaatteita rakennusautomaatiojärjestelmän kuvaamiseen.	Voi olla suomalaisiin ja pienempiin hankkeisiin sovellettuna raskas ilman keventämistä ja paikallista soveltamista.	Tukee työn ajatusta siitä, että rakennusautomaatiosuunnittelussa tarvitaan yhtenäisempää toiminnallista kuvausta.
VDI 6026	Taloteknisten järjestelmien suunnitteludokumenttaation rakenne, vaiheistus ja vastuunjakoon.	Selkeyttää dokumentaation vaiheittaista tuottamista ja eri osapuolten vastuita.	Ei yksin ratkaise rakennusautomaatiotiedon koneluettavuutta tai semanttista yhteentoimivuutta.	Tukee toimintamallin prosessi- ja versionhallintänäkökulmaa sekä dokumentaation vaiheittaista laadunvarmistusta.

2.2 Teollisuuden käytäntö

Tässä kappaleessa kuvataan teollisen automaation suunnitteludokumentaation keskeiset piirteet ja analysoidaan, miten ne eroavat rakennusautomaation dokumentaatiosta.

Teollisuus- ja prosessiautomaatiossa dokumentaatiokäytännöt ovat vakiintuneet pitkän standardointiperinteen, korkean turvallisuusvaatimuksen ja prosessiteollisuuden taloudellisten vaatimusten pakottamana. Dokumentointi perustuu kansainvälisiin IEC- ja ISO-standardeihin, jotka määrittelevät sekä järjestelmien rakenteen ja suunnitteludokumenttien sisällön. Esimerkiksi IEC 61131-3 [13] määrittelee ohjelmoitavien logiikoiden ohjelmointikielet ja niihin liittyvät dokumentointivaatimukset, kun taas IEC 61508 ja IEC 62061 ohjaavat turvallisuuteen liittyvien ohjausjärjestelmien elinkaaridokumentaatiota riskianalyysistä validointiin [14], [15]. Dokumentaation keskeisiä esitystavat ovat prosessikaaviot (PID), instrumenttiluettelot, I/O-listat, kaapelointi- ja kytkentäkaaviot, sekvenssikuvaukset sekä käyttö- ja huolto-ohjeet, jotka yhdessä muodostavat järjestelmän teknisen selkärangan ja mahdollistavat sekä turvallisen käytön että tehokkaan ylläpidon [16].

Lisäksi teollisuusautomaation dokumentaatiossa korostuu jäljitettävyyys: jokaisen muutoksen tulee olla perusteltu, versioitu ja linkitetty järjestelmän elinkaaren vaiheisiin, mikä heijastaa prosessiteollisuuden korkeita turvallisuus- ja laatustandardeja [16]. Nämä käytännöt muodostavat selkeän kontrastin rakennusautomaatioon, jossa dokumentaatiokulttuuri on perinteisesti ollut hajanaisempi ja vähemmän standardisoitu. Teollisuusautomaation systemaattiset menetelmät tarjoavatkin hyödyllisiä vertailukohtia rakennusautomaatiosuunnittelun kehittämiseksi, erityisesti tietosisältöjen yhdenmukaistamisen ja elinkaariajattelun näkökulmasta.

Teollisuusautomaation suunnitteludokumentaatio on rakennusautomaatioon verrattuna usein standardoidumpaa ja tarkemmin säänneltyä. Tämä johtuu erityisesti prosessiturvallisuuden vaatimuksista, tuotantokatkosten suurista taloudellisista vaikutuksista sekä IEC-, ISA- ja ISO-standardien vahvasta asemasta teollisuuden suunnittelukäytännöissä. Turvallisuus ja sääntely: prosessiturvallisuusvaatimukset edellyttävät formaalia dokumentaatiota ja jäljitettävyyttä. Taloudelliset riskit: tuotantoseisokit ja laatuvirheet aiheuttavat suuria kustannuksia, mikä pakottaa huolelliseen dokumentointiin. Standardit ja sertifiointi: IEC/ISA/ISO-normit määrittelevät dokumentaatiovaatimuksia, joita noudatetaan prosessin tarkastettavuuden takia.

2.3 Nykyinen esitysmuoto ja sen haasteet

Nykyiset rakennusautomaatiosuunnitelmien esitystavat perustuvat pitkälti perinteisiin kaavi-oihin, pistelistauksiin sekä tekstimuotoisiin määrittelyihin, jotka on suunniteltu ihmislukijalle eikä koneelliseen käsittelyyn. Tämä aiheuttaa haasteita tiedon yhtenäisyydelle, päivitettävyydelle ja siirrettävyydelle eri osapuolten ja elinkaaren vaiheiden välillä: tiedon hajautuminen eri formaatteihin vaikeuttaa kokonaiskuvan muodostamista, vastuurajat hämärtyvät ja versionhallinta vaikeutuu helposti ja vaadittava metadata puuttuu usein. Lisäksi nykyiset esitystavat eivät aina kata riittävästi tietoturva-, integraatio- ja datatalousvaatimuksia, mikä rajoittaa suunnitelmien hyödyntämistä älykkäiden rakennusratkaisujen kehityksessä.

2.3.1 Kansainväliset ohjeistukset

University of Toronton rakennusautomaatiojärjestelmien (RAU) suunnitteluohjeessa [17] dokumentaatiolle annetaan laajat ja yksityiskohtaiset vaatimukset. Ohje kattaa rakennusautomaatiojärjestelmän koko elinkaaren aikaisen dokumentaation suunnitteluvaiheen toimitettavista suunnitteluasiakirjoista toteumadokumentaatioon asti. Dokumentoinnin tavoitteena on varmistaa järjestelmän läpinäkyvyys, ylläpidettävyys, energiatehokkuus ja integraatiovalmius yliopiston keskitettyihin järjestelmiin [17].

Suunnitteluvaiheessa edellytetään kattavaa dokumenttipakettia, johon sisältyvät tuotedokumentit, laite- ja materiaaliluettelot, venttiili- ja peltitaulukot, johdotuskaaviot sekä yksityiskohtaiset säätö- ja kytkentäpiirustukset. Kaikkien laitteiden tekniset tiedot (mitat, suoritusarvot, sähköiset ominaisuudet, säätöalueet) tulee esittää valmistajan dokumentaation mukaisesti. työpiirustusaineistossa korostuu järjestelmäarkkitehtuurin läpinäkyvyys: jokaisesta ohjaimesta ja verkosta on esitettävä mm. verkon numero, laitetunnus, BACnet-olioiden tiedot, IP-osoitteet, protokollat ja siirtonopeudet. Lisäksi lattiatason pohjapiirroksissa on esitettävä kaikki ohjaimet, väyläkaapeloinnit, tehonsyötöt ja maadoitukset [17]. University of Toronton ohjeistus antaa täten yksityiskohtaisemman ja hankekohtaisen vaatimustason kohteelle, kuin esimerkiksi SFS-EN ISO 16484-1:2024:en. SFS-EN ISO 16484-1:2024:en tarjoaa periaatteet ja rakenteen, mutta ei pakota tiettyjä työvälineitä tai dokumentaatiomuotoja. Tämä antaa joustavuutta, mutta voi johtaa vaihtelevaan käytäntöön ilman lisäohjeistusta [17], [7].

Keskeinen osa ohjetta on sekvenssikuvauksen (sequence of operation) sisältövaatimus. Sekvenssin tulee olla selkeästi kirjoitettu ja kuvata järjestelmän toiminta eri käyttötilanteissa (esim. käynnistys/pysäytys, vikatilanteet, sähkökatkot, miehitetty/miehittämätön tila). Lisäksi tulee määritellä kaikki säädettävät asetusarvot, niiden säätörajat sekä prioriteetit käyttäjän ja operaattorin välillä. Ohje painottaa energiatehokkuutta ja kulutusjoustoa: dokumentaatiossa on esitettävä energianmittauksen periaatteet, kulutuslaskennat, trendipisteet sekä vianhavaitsemis- ja diagnostiikka-algoritmit (FDD). Erityisesti tulee tuottaa hälytykset esimerkiksi samanaikaisesta lämmityksestä ja jäähydytyksestä, toimimattomasta kiertoilmatoiminnosta tai vuotavasta venttiileistä [17].

Hälytyksistä vaaditaan taulukkomuotoinen esitys, jossa määritellään hälytyksen kuvaus, luokitus, vaadittu toimenpide sekä mahdolliset syyt. Lisäksi dokumentaatioon sisällytetään tarkistuslistat, joilla varmistetaan, että kaikki vaaditut osiot (esim. vyöhykekaaviot, virtauskaaviot, painesuhdekaaviot) on huomioitu suunnittelussa [17].

”Punakynä” -vaiheessa dokumentit tulee päivittää vastaamaan toteutunutta asennusta. Lopulliset asetusarvot, ohjelmistoversiot, I/O-pisteluettelot (ml. BACnet-olio- ja laitetunnukset) sekä graafiset käyttöliittymät on luovutettava sähköisessä, muokattavassa muodossa (mm. AutoCAD ja ohjelmistotiedostot). Myös integraatiot muihin BACnet -järjestelmiin ja verkkoratkaisuihin on dokumentoitava yksityiskohtaisesti [17].

Kokonaisuutena ohje edustaa erittäin systemaattista ja ylläpitokeskeistä dokumentointimallia, jossa korostuvat tiedon rakenteisuus, energianhallinta sekä elinkaaren aikainen jäljitettävyyys. Dokumentaatiovaatimukset ovat huomattavasti laajemmat kuin tyypillisissä suomalaisissa hankkeissa.

CIBSE Guide H on Chartered Institution of Building Services Engineersin laatima ammatillinen ohjeistus [18], joka on jossain määrin verrattavissa Suomessa käytettyyn ST-käsikirja 17:ään [19]. CIBSE Guide H tarjoaa käytännönläheisen ja ylläpitokeskeisen ohjeistuksen rakennusautomaation (BCS/BAS) suunnittelusta, dokumentoinnista, käyttöönotosta ja ylläpidosta. Guide H korostaa kattavaa elinkaaridokumentaatiota: järjestelmäkuvauksia ja periaatekaavioita, yksityiskohtaisia pistelistoja ja johdotuspiirustuksia sekä selkeästi määriteltyjä sekvenssejä (sequence of operations). Lisäksi se painottaa testaus- ja hyväksyntädokumentaatiota tapahtumatiedon hallintaa sekä selkeitä hälytys- ja käyttöliittymävaatimuksia. Dokumentaation hallinta, versiointi ja roolijako ovat myös keskeisiä suosituksia [18].

Guide H:n vahvuus on sen selkeä käytännön suuntautuneisuus: ohjeistukset on kirjoitettu helpottamaan toteutusta, käyttöä ja ylläpitoa pitkällä aikavälillä. Guide H on hyödyllinen ohjeistus kansainvälisissä ja monikansaisissa projekteissa sillä se ei pakota tiettyjä kansallisia formaattistandardeja vaan antaa hyvän viitekehyksen, jonka mukaan voidaan hanke toteuttaa. Guide H ei ole yhtä projektikohtainen kuten University of toronton ohje ja ei rajoita itseänsä kansallisiin käytäntöihin kuten ST-käsikirja 17 [18], [17], [19].

2.3.2 Suomalaiset ohjeistukset

Olennaisia suomalaisia ohjeistuksia rakennusautomaatiosuunnittelun esitystavalle ovat ST-käsikirja 17, sekä kohdekohtaiset ja tilaajaorganisaation laatimat ohjeet. Kyseisissä dokumenteissa määritellään hankkeen rakennusautomaatiosuunnitelmien dokumenttikokonaisuutta, sekä mitä kyseisten dokumenttien tulisi sisältää [19].

Suomessa sähkö- ja automaatioalan ohjeistuksella on merkittävä vaikutus rakennusautomaatiojärjestelmien dokumentointikäytäntöihin, ja tässä keskeinen viite on ST-käsikirja 17. Kyseinen käsikirja kokoaa yhteen rakennusautomaation suunnittelua, toteutusta ja dokumentointia koskevia periaatteita ja toimii monessa hankkeessa käytännön suunnitteluohjeena erityisesti sähkö- ja automaatiosuunnittelijoille. Dokumentaation näkökulmasta ST-käsikirja 17 vaikut-

taa ennen kaikkea esitystavan jäsentelyyn: siinä määritellään tyypilliset asiakirjatyypit (järjestelmäkaaviot, säätökaaviot, pisteluettelot, toimintakuvaukset), niiden tarkoitus sekä keskinäinen suhde. Käsikirja ohjaa esittämään automaatiotoiminnot loogisina kokonaisuuksina siten, että kenttälaitteet, I/O-pisteet ja ohjaustoiminnot ovat jäljitettävissä kaavioista ja luetteloista toisiinsa. Lisäksi se painottaa dokumentaation roolia käyttöönottovaiheessa ja ylläpidossa, mikä näkyy vaatimuksina ajantasaisille pisteluetteloille, ohjelmavarmuuskopioille ja selkeälle nimeämiskäytännölle. Vaikka ST-käsikirja ei ole juridisesti velvoittava normi, sen ohjaava vaikutus on käytännössä merkittävä: se yhtenäistää suunnittelukäytäntöjä, tukee eri osapuolten välistä yhteisymmärrystä ja toimii usein lähtökohtana myös tarjouspyyntöjen ja työselostusten laadinnassa [19].

LVI RYL 92 luku 4 [1] määrittelee rakennusautomaatioon liittyviä yleisiä laatuvaatimuksia erityisesti toteutuksen näkökulmasta. Varsinaista suunnitteluvaiheen esitystapaa dokumentti ei kuitenkaan määrittele yksityiskohtaisesti, vaan vaatimukset painottuvat erityisesti luovutusasiakirjojen sisältöön, joka on ylempänä kerrottu [1].

RYL:n vaatimukset painottuvat luovutusvaiheen dokumentointiin [1]. Varsinaista suunnitteluvaiheen esitystavan ohjeistusta dokumentti ei kuitenkaan yksityiskohtaisesti määrittele. Luovutusasiakirjat ovat loppukäyttäjälle tärkeä asiakirjakokonaisuus. Käytännössä RYL vaatimuksia täydennetään usein erillisillä tilaaja- tai hankekohtaisilla ohjeilla, kuten Tampereen Tilapalveluiden luovutusaineisto-ohjeella [2]. Kyseisessä luovutusaineisto ohjeessa määritellään tarkemmat hankekohtaiset vaatimukset luovutusasiakirjojen sisältöön. Kyseinen ohje täydentää luovutusaineistovaatimuksia käytännön ohjeilla ja tarkennuksilla. Se korostaa sähköisten toimitusten pakollisuutta (muodot, tiedostonimikkeet ja kansiorakenne), ohjelmadokumentation sisällöstä sekä formaateista, edellyttää koestuspöytäkirjojen, materiaaliluetteloiden ja laiteluetteloiden esitystapaa sekä vaatii vastuuhenkilöiden hyväksymis- ja kuittausmerkinnät luovutuskansioihin. Lisäksi se usein täydentää RYL:n vaatimuksia projektikohtaisilla nimi-, revisio- ja arkistointikäytännöillä sekä sähköisen arkistoinnin toimittamisprosesilla (esim. hyväksytyt metatiedot, käyttöoikeudet ja säilytys). Tampereen ohje antaa hyvän esimerkin, miten ohjeistuksella voidaan täydentää RYL-vaatimuksia toteutettavaksi toimitusvaatimukseksi [1], [2].

Tampereen kaupungin rakennusautomaatiojärjestelmän suunnitteluohje [2] on hyvä esimerkki kohdekohtaisesta taikka tässä tapauksessa puitesopimuksiin sidotusta ohjeistuksesta rakennusautomaatiosuunnittelulle. Ohjeen tarkoitus on antaa selkeä ohjeistus rakennusautomaatiosuunnitelmien laatimiselle Tampereen kaupungin rakennusautomaatiohankkeisiin. Ohjeistuksessa rakennusautomaatiosuunnitelmien sisältöä sekä esitystapaa käsitellään yksityiskohtaisesti ja ohje kertoo mitä jokainen suunnitelma tulee pitää sisällään. Ohjeistuksessa myös käydään läpi rakennushankekohtaisten suunnitteluasiakirjojen tärkeysjärjestys, joka on toteutusvaiheessa sopijapuolille helpottava dokumentti, sillä se voi toimia tulkinta- ja ristiriitatilanteissa ratkaisevana asiakirjana [2]. Tämä dokumenttien tärkeysjärjestys on usein myös mainittu urakasopimuksessa ja urakkarajaliitteissä. Kyseisiin ongelmakohtiin paneudutaan enemmän raportin analyysiosiossa.

Nykyiset ohjeistukset rakennusautomaatiosuunnitelmien esitystapaan ja dokumentaatioon ovat hyvin monitasoisia ja hajautettuja. Dokumentaation esitystapaa määrittellään usein tilaajaorganisaatioiden laatimissa projekti- tai organisaatiokohtaisissa ohjeissa. Dokumentaation laatu voi vaihdella merkittävästi, mikäli tilaajaorganisaatiolla ei ole riittäviä resursseja tai osaamista laatia ohjeistusta tarpeelliselle tasolle. Myös hankkeiden projektihenkilöstön resurssit ja ammattitaito vaikuttaa suoraan dokumentaation tasoon ja viime kädessä loppudokumentaation hyödynnettävyyteen rakennuksen käyttö-/ylläpitovaiheessa.

Yhtenäiset ohjeistukset ja vähimmäisvaatimukset voisivat vähentää tilaajaorganisaatioiden resurssi- ja osaamiseroista johtuvaa vaihtelua rakennusautomaatiosuunnitelmien dokumentoinnissa. Ohjeistusten yhtenäistäminen voisi nostaa rakennusautomaatiorakenteiden dokumentaation yleistä tasoa.

2.3.3 Nykyiset esitystavat ja ohjeistukset

Rakennusautomaation suunnitteluasiakirjoja ei voida tarkastella irrallaan niitä ohjaavasta sopimusasiakirjakokonaisuudesta. Suomessa rakennusurakoiden sopimusjärjestelmä perustuu vakiintuneeseen käytäntöön, jossa keskeisenä ehtokokoelmana toimii YSE 1998 [20]. Sopimusasiakirjat määrittelevät osapuolten vastuut, velvollisuudet, riskin jaon sekä asiakirjojen keskinäisen pätevyysjärjestyksen. Rakennusautomaatiorakenteissa tämä on erityisen merkittävää, koska järjestelmät muodostavat rajapinnan useisiin muihin teknisiin järjestelmiin, kuten LVI-, sähkö- ja IT-järjestelmiin.

Urakkarajaliitteellä on rakennusautomaatiorakenteissa keskeinen merkitys, koska siinä määritellään eri urakoitsijoiden välinen työn- ja vastuunjakoon. Rakennusautomaation näkökulmasta urakkarajaliitteessä voidaan täsmentää esimerkiksi toimintakokeiden ja koekäytön laajuus, järjestelmän viritysvaiheen vastuut, luovutusdokumentoinnin sisältövaatimukset sekä integraatioiden vastuurajat. Mikäli vastuunjakoon tai dokumentointivaatimukset jäävät epäselviksi, tämä voi heijastua suoraan suunnitelmien sisältöön, toteutuksen aikaisiin muutoksiin ja luovutusaineiston ajantasaisuuteen [20].

Rakennusautomaatiojärjestelmän teknisissä suunnitelmissa määritetään järjestelmän toiminnalliset ja tekniset ominaisuudet sekä vaatimukset. Suunnitteluohjeita rakennusautomaatiojärjestelmille on saatavilla esimerkiksi ST-kortistosta ja ST-käsikirja 17ä. Lisäksi tilaajaorganisaatioiden omat ohjeet, kuten Tampereen Tilapalveluiden ja Lappeenrannan toimitilojen rakennusautomaatio-ohjeet, täydentävät teknisten suunnitelmien ja luovutusaineiston sisältövaatimuksia [19], [2], [3].

Rakennusautomaatiosuunnitelmien tekninen osa muodostuu useista asiakirjoista ja tietosisällöistä. Taulukossa 2 on koottu keskeiset nykyisin käytettävät asiakirjat, niiden käyttötarkoitus sekä tiedonhallinnan näkökulmasta tunnistetut haasteet.

Taulukko 2. Rakennusautomaatiosuunnitelmien keskeiset asiakirjat ja tiedonhallinnan haasteet.

Asiakirja tai tietosisältö	Nykyinen käyttötarkoitus	Keskeinen haaste tiedonhallinnan näkökulmasta
Piirustusluettelo	Kokoa hankkeen tekniset RAU-asiakirjat, asiakirjatunnukset ja revisiotiedot [19].	Ajantasaisuuden ja revisiohistorian hallinta voi olla vaikeaa ilman yhteistä versionhallintaa.
Hankintaohjelma ja tekninen erittely	Määrittävät hankittavat järjestelmät, laitteet, palvelut ja tekniset vaatimukset [19].	Tieto esitetään usein tekstimuodossa, jolloin yhteys laite-, piste- ja järjestelmätietoihin jää manuaalisesti tulkittavaksi.
Rakennusautomaatiotyöselostus	Kuvaa järjestelmän yleisrakenteen, toiminnalliset vaatimukset sekä tiedonsiirto- ja tietoturva-vaatimukset [19].	Työselostuksen ja teknisten kaavioiden välinen yhteys ei aina ole yksiselitteinen.
Järjestelmäkaavio	Esittää järjestelmän kokonaisrakenteen, kuten valvomoarkkitehtuurin, alakeskukset ja väylät [2].	Kaavio antaa yleiskuvan, mutta tieto ei yleensä ole suoraan koneluettavaa.
Säätökaavio	Kuvaa järjestelmän toimintaperiaatteet, anturit, toimilaitteet, säätöpiirit ja asetusarvot [19].	Tieto voi olla hajautunut kaavioon, toimintaselostukseen sekä piste- ja laiteluetteloihin.
Toimintaselostus	Kuvaa järjestelmän toiminnan eri käyttötilanteissa, kuten käyntiajoissa, hälytyksissä ja poikkeustilanteissa [2].	Vapaamuotoinen tekstikuvaus voi johtaa epäyhtenäiseen tulkintaan.
Paikantamspiirustukset	Osoittavat laitteiden, anturien, kaapelointien ja keskusten fyysiset sijainnit rakennuksessa [3].	Yhteys järjestelmä-, piste- ja laitetunnuksiin voi jäädä puutteelliseksi.
Pisteluettelot, I/O-tiedot ja laiteluettelot	Määrittävät järjestelmän pisteet, liittynät, laitteet ja tekniset ominaisuudet [19], [3].	Formaatti, nimeäminen ja tietosisältö vaihtelevat hankkeittain, mikä heikentää koneluettavuutta.
Luovutus- ja toteumadokumentit	Kuvaavat toteutuneen järjestelmän ja sisältävät esimerkiksi toteumapiirustukset, ohjelmätiedot, käyttöohjeet sekä testauspöytäkirjat [1], [2], [3], [19].	Ajantasaisuus, muokattavuus ja hyödynnettävyys vaihtelevat. PDF-muotoinen aineisto edellyttää usein manuaalista uudelleen käsittelyä.

Taulukosta 2 voidaan havaita, että nykyiset rakennusautomaatiosuunnitelmat sisältävät suuren määrän toteutuksen ja ylläpidon kannalta hyödyllistä tietoa. Keskeinen ongelma ei siten ole yksittäisten asiakirjatyyppeiden puuttuminen, vaan tiedon hajautuminen eri dokumentteihin, vaihtelevat nimeämiskäytännöt sekä tiedon esittäminen pääosin ihmiselle luettavassa muodossa. Tämä rajoittaa tiedon hyödyntämistä esimerkiksi ohjelmoinnissa, testauksessa, ylläpidon järjestelmissä, analytiikassa ja myöhemmissä muutostöissä.

Luovutuspiirustusten ja ylläpidodokumentaation osalta nykyiset ohjeistukset painottavat toteumadokumentaation merkitystä. ST-käsikirja 17 mukaan luovutuspiirustukset laaditaan

urakoitsijan tekemien punakynäpiirustusten perusteella, ja Tampereen Tilapalveluiden rakennusautomaatiojärjestelmän suunnitteluohje myötäilee samaa toimintatapaa [19], [2]. LVI RYL laatuvaatimuksissa edellytetään muun muassa dokumentoinnin yleiskuvausta, dokumenttiluetteloa, järjestelmän yleiskuvausta, ohjelmatietoja, kytkentä- ja toimintakaavioita, käyttöohjeita sekä testaus- ja mittauspöytäkirjoja [1]. Lappeenrannan toimitilojen rakennusautomaatio-ohje täydentää tätä määrittelemällä tarkemmin sähköisessä muodossa luovutettavia aineistoja, kuten projektitiedot, kytkentä- ja johdotustiedot, I/O-liityntätiedot, laiteluettelot sekä käyttö-, ohjelmointi- ja huolto-ohjeet [3].

Tämän työn näkökulmasta nykyinen esitystapa muodostaa toimivan lähtökohdan rakennusautomaatiojärjestelmän suunnittelulle ja toteutukselle, mutta se ei vielä riittävästi tue tiedon elinkaaren aikaista hyödyntämistä. Suunnitelmien kehittämisessä keskeistä on, että nykyisiä asiakirjoja ei korvata kokonaan, vaan niiden tietosisältöä täydennetään rakenteisilla, yhdenmukaisesti nimetyillä ja tarvittaessa koneluettavilla tiedoilla. Näin samaa suunnittelussa tuotettua tietoa voitaisiin hyödyntää paremmin toteutuksessa, käyttöönotossa, ylläpidossa ja rakennusautomaatiojärjestelmien tuottaman datan jatkokäytössä.

2.4 Suunnitelmien koneluettavuus, semantiikka ja tietoturva

Tämän luvun tarkoituksena on esitellä rakennusautomaatitiedon koneluettavuuteen, semanttiseen yhteentoimivuuteen ja tietoturvallisuuteen liittyvät keskeiset käsitteet, jotka muodostavat perustan työn myöhemmissä luvuissa esitettävälle toimintamallille.

2.4.1 Rakennuksen tiedon elinkaari ja tietomallit

Rakennusten suunnittelussa tuotetaan nykyisin suuri määrä digitaalista tietoa. Tietomallintaminen (Building Information Modelling, BIM) on vakiinnuttanut asemansa rakennusalan suunnittelumenetelmänä, ja sitä hyödynnetään laajasti rakennushankkeen eri suunnittelualoilla [21]. Tietomallien avulla rakennuksen fyysiset ominaisuudet, sijainti, geometria sekä niihin liittyvät ominaisuustiedot voidaan esittää digitaalisessa muodossa.

Tietomallien merkitys ei kuitenkaan rajoitu pelkästään suunnitteluvaiheeseen. Rakennushankkeessa tuotettua tietoa hyödynnetään myös rakentamisessa, käyttöönotossa sekä rakennuksen käytön ja ylläpidon aikana. Tämän vuoksi tiedon tulee säilyä hallittuna ja hyödynnettävänä rakennuksen koko elinkaaren ajan [22].

Tietomalli mielletään usein rakennuksen kolmiulotteiseksi malliksi, mutta käytännössä se sisältää myös rakennusosien ominaisuustietoja, järjestelmätietoja sekä hankkeen aikana syntyvää dokumentaatiota. Tietomallin arvo perustuu ennen kaikkea sen sisältämään tietoon, jota voidaan hyödyntää rakennushankkeen eri vaiheissa [22].

Rakennusalan keskeinen tiedonsiirtostandardi on IFC (Industry Foundation Classes), jonka tarkoituksena on mahdollistaa tietomallien ja niihin liittyvän tiedon siirtäminen eri ohjelmistojen välillä [23]. IFC tarjoaa yhtenäisen tavan kuvata rakennuksen fyysisiä ominaisuuksia, kuten rakennusosia, tiloja, geometriaa ja sijaintitietoja [22].

Rakennusautomaation näkökulmasta IFC muodostaa tärkeän perustan rakennuksen digitaalisen tiedon hallinnalle. Sen vahvuudet liittyvät erityisesti rakennuksen fyysisten ominaisuuksien kuvaamiseen, kun taas rakennusautomaatiojärjestelmien toiminnallinen tieto sijaitsee usein erillisissä järjestelmissä. Tämän vuoksi rakennuksen tietomallien rinnalla tarvitaan myös rakennusautomaatiojärjestelmien omia tietomalleja ja tiedonhallintakäytäntöjä.

2.4.2 Rakennusautomaation metatieto ja BACnet

Rakennusautomaatiojärjestelmät tuottavat ja käsittelevät suuria määriä tietoa rakennuksen teknisten järjestelmien toimin-nasta. Tietoa kerätään esimerkiksi lämmitys-, jäähdytys-, ilmanvaihto-, valaistus- ja energianhallintajärjestelmistä [9]. Rakennusautomaatiojärjestelmän tieto koostuu sekä mittausdatasta että metatiedosta, joka kuvaa tiedon merkitystä, sijaintia ja yhteyttä muihin järjestelmiin.

Rakennusautomaatioalan keskeisin tiedonsiirtostandardi on BACnet (Building Automation and Control Network), jonka tavoitteena on mahdollistaa eri valmistajien laitteiden ja järjestelmien yhteistoiminta [24]. BACnet on yksi rakennusautomaatioalan laajimmin käytetyistä avoimista standardeista, ja sitä hyödynnetään laajasti nykyaikaisissa rakennusautomaatiojärjestelmissä [25].

BACnet perustuu objektimalliin, jossa automaatiojärjestelmän tieto kuvataan standardoitujen objektien avulla. Tämän ansiosta laitteita, mittauksia, ohjauksia ja hälytyksiä voidaan käsitellä yhdenmukaisella tavalla eri järjestelmissä [24]. Rakenteisen objektimallin ansiosta BACnet-data on lähtökohtaisesti koneluettavaa ja soveltuu hyvin tiedon automaattiseen käsittelyyn. BACnetin vahvuutena voidaan pitää erityisesti sen laajaa käyttöönottoa, valmistajariippumattomuutta sekä kykyä tukea järjestelmien välistä tiedonsiirtoa. Standardi tarjoaa yhteisen rakenteen rakennusautomaatitiedon esittämiseen ja mahdollistaa tiedon hyödyntämisen esimerkiksi valvomoissa, analytiikassa ja energianhallinnassa [24].

Vaikka BACnet tarjoaa rakenteisen tavan tiedon esittämiseen, ei se yksin ratkaise tiedon merkityksen tulkintaan liittyviä haasteita. Rakennuksen eri järjestelmät voivat edelleen käyttää erilaisia nimeämiskäytäntöjä ja kuvata samaa tietoa eri tavoin. Tämän vuoksi rakennusautomaatioalalla on viime vuosina kiinnitetty kasvavaa huomiota semanttiseen yhteentoimivuuteen ja tiedon merkityksen yhdenmukaiseen kuvaamiseen.

2.4.3 Semanttinen yhteentoimivuus rakennusautomaatiossa

Rakennusten digitalisoituminen on lisännyt merkittävästi rakennusautomaatiojärjestelmien tuottaman tiedon määrää. Samalla rakennuksen tietoa tuotetaan ja ylläpidetään useissa eri järjestelmissä rakennuksen koko elinkaaren ajan. Rakennuksen fyysisiä ominaisuuksia kuva-

taan tyypillisesti BIM-malleissa, rakennusautomaatiojärjestelmien toimintaa BACnet-pohjaisissa järjestelmissä ja rakennuksen operatiivista toimintaa erilaisissa IoT- ja analytiikkajärjestelmissä. Vaikka tieto on usein digitaalisessa muodossa, se muodostaa käytännössä useita erilisiä tietokerroksia, joiden yhteiskäyttö on haastavaa [26].

Rakennuksen eri järjestelmät voivat käsitellä samaa tietoa eri tavoilla ja käyttää siitä erilaisia nimityksiä. Esimerkiksi huonelämpötilaa kuvaava mittauspiste voidaan esittää eri järjestelmissä erilaisilla tunnuksilla, nimeämiskäytännöillä tai tietorakenteilla. Tällöin tiedon yhdistäminen eri järjestelmien välillä edellyttää usein manuaalista työtä tai erillisiä integraatioita. Tämä ilmiö voidaan kuvata datasiilona, joissa tieto on teknisesti saatavilla, mutta sen hyödyntäminen yli järjestelmärajojen on vaikeaa [25].

Koneluettavuuden näkökulmasta pelkkä digitaalinen tai rakenteinen tieto ei aina riitä. Jotta ohjelmistot voivat käsitellä tietoa automaattisesti, niiden tulee pystyä ymmärtämään myös tiedon merkitys. Tätä kutsutaan semanttiseksi yhteistoimivuudeksi. Semanttisen yhteistoimivuuden tavoitteena on varmistaa, että eri järjestelmät tulkitsevat tiedon samalla tavalla riippumatta siitä, missä järjestelmässä tieto on alun perin tuotettu tai tallennettu [26].

Rakennusautomaatioalalla semanttisen yhteistoimivuuden kehittämiseksi on luotu useita erilaisia tietomalleja ja viitekehyksiä. Tunnetuimpia näistä ovat Brick Schema, Project Haystack sekä ASHRAE 223P [27], [28], [26]. Näiden tavoitteena on kuvata rakennuksen laitteet, mitaukset, järjestelmät ja niiden väliset suhteet tavalla, joka mahdollistaa tiedon yhdenmukaisen tulkinnan eri ohjelmistoissa ja järjestelmissä.

Brick Schema on rakennuksille kehitetty semanttinen tietomalli, joka perustuu ontologiseen lähestymistapaan. Sen tavoitteena on kuvata rakennuksen laitteet, sensorit, järjestelmät sekä niiden väliset suhteet yhtenäisellä tavalla. Brickin keskeinen vahvuus on kyky kuvata rakennuksen toiminnallisia kokonaisuuksia yksittäisten pisteiden sijaan. Tämän ansiosta tietoa voidaan hyödyntää esimerkiksi analytiikassa, energianhallinnassa ja automaattisessa tiedonkäsitelyssä [27].

Project Haystack lähestyy samaa ongelmaa hieman eri näkökulmasta. Se perustuu laitteiden ja tietopisteiden kuvaamiseen tunnisteiden eli tagien avulla. Tavoitteena on tehdä rakennusautomaatitiedosta helposti ymmärrettävää sekä ihmisille että ohjelmistoille. Haystackia hyödynnetään erityisesti rakennusautomaatiojärjestelmien, analytiikan ja IoT-ratkaisujen yhteydessä, joissa tarvitaan yhtenäisiä nimeämis- ja luokittelukäytäntöjä [28].

ASHRAE Standard 223P puolestaan pyrkii luomaan yhteisen semanttisen perustan rakennusten analytiikka- ja automaatiosovelluksille. Kyseessä on vielä kehitteillä oleva standardiehdotus, jonka tavoitteena on kuvata rakennuksen järjestelmät, laitteet ja niiden väliset suhteet siten, että tieto voidaan siirtää ja hyödyntää yhdenmukaisesti eri sovelluksissa. Standardi on yksi viime vuosien merkittävimmistä kehityshankkeista rakennusten semanttisen yhteistoimivuuden alueella [26].

Vaikka Brick, Haystack ja ASHRAE 223P eroavat toteutustavoiltaan, niiden tavoitteet ovat pitkälti samat. Kaikki pyrkivät parantamaan rakennusten eri tietolähteiden yhteistoimivuutta

sekä vähentämään tiedon tulkintaan liittyviä ongelmia. Yhtenäisenä tavoitteena on mahdollistaa rakennustiedon tehokkaampi hyödyntäminen rakennuksen koko elinkaaren aikana sekä tukea analytiikan, automaation, digitaalisten kaksosten ja muiden älyrakennusratkaisujen kehittämistä [29].

Semanttiset tietomallit eroavat toisistaan erityisesti siinä, miten ne kuvaavat rakennuksen järjestelmiä, pisteitä, laitteita ja niiden välisiä suhteita. Taulukossa 2 on esitetty Brick Scheman, Project Haystackin ja ASHRAE 223P keskeiset erot, vahvuudet ja rajoitteet rakennusautomaatiosuunnittelun näkökulmasta.

Taulukko 3. Semanttisten tietomallien vertailu rakennusautomaatiosuunnittelun näkökulmasta [28], [29], [26].

Semanttinen malli	Pääperiaate	Vahvuudet	Rajoitteet
Brick schema	Ontologiaan perustuva malli, jossa rakennuksen järjestelmät, laitteet, pisteet ja niiden väliset suhteet kuvataan rakenteisesti.	Kuvaa järjestelmien välisiä suhteita tarkasti ja tukee sovellusten siirrettävyyttä eri rakennusten välillä. Soveltuu hyvin analytiikkaan, automaattiseen päättelyyn ja järjestelmien välisen riippuvuuden kuvaamiseen.	Mallin käyttöönotto voi vaatia enemmän osaamista ja tarkempaa mallinustustyötä kuin yksinkertaisempi tagipohjainen lähestymistapa.
Project Haystack	Tagipohjainen lähestymistapa, jossa rakennusdataa kuvataan metatiedoilla ja tunnisteilla.	Käytännönläheinen ja suhteellisen helppo ottaa käyttöön. Soveltuu hyvin pisteiden, laitteiden ja järjestelmien kuvaamiseen rakennusautomaatiossa ja kiinteistöanalytiikassa.	Tagipohjainen rakenne ei kuvaa järjestelmien välisiä suhteita yhtä yksiselitteisesti kuin ontologiapohjainen malli. Tulkinta voi vaihdella, jos tagien käyttöä ei ohjeisteta riittävän tarkasti.
ASHRAE Standard 223P	Standardoitu semanttinen tietomalli rakennusten järjestelmien, laitteiden, pisteiden ja niiden välisten suhteiden kuvaamiseen.	Pyrkii luomaan yhtenäisen ja standardoidun tavan esittää rakennusdataa. Tukee rakennusautomaatio-, analytiikka- ja optimointisovellusten yhteentoimivuutta.	Käytännön soveltaminen on vielä kehittyvässä vaiheessa, ja käyttöönotto edellyttää yhteisiä toimintatapoja sekä työkalutukea.

Taulukon perusteella voidaan todeta, että semanttiset tietomallit eivät korvaa nykyisiä rakennusautomaatiosuunnitelmia tai olemassa olevia standardeja, vaan täydentävät niitä rakenteisella ja koneellisesti tulkittavalla tietokerroksella. Project Haystack tarjoaa käytännönläheisen tavan lisätä metatietoa rakennusautomaatiopisteisiin ja järjestelmiin, kun taas Brick Schema ja ASHRAE 223P painottavat järjestelmien välisten suhteiden tarkempaa kuvaamista. Rakennusautomaatiosuunnittelun näkökulmasta olennaista ei ole vain yksittäisen mallin valinta, vaan se, että tieto voidaan kuvata yhdenmukaisesti, rakenteisesti ja rakennuksen elinkaaren aikana hyödynnettävässä muodossa. Semanttinen yhteentoimivuus ei siten korvaa esimerkiksi IFC:tä tai BACnetia, vaan täydentää niitä lisäämällä tiedolle yhteisen merkityksen ja tulkintamallin [29].

2.4.4 Keskeiset havainnot koneluettavuudesta, semantiikasta ja tietoturvasta

Tässä luvussa tarkastellut koneluettavuuteen, semanttiseen yhteistoimivuuteen ja tietoturvaan liittyvät näkökulmat muodostavat perustan rakennusautomaatiosuunnitelmien kehittämiseksi. Rakennusautomaatiojärjestelmien digitalisoituminen on lisännyt rakennuksissa tuotettavan ja hyödynnettävän tiedon määrää merkittävästi. Rakennuksen fyysisiä ominaisuuksia

kuvataan tyypillisesti BIM-mallien ja IFC-standardin avulla, kun taas rakennusautomaatiojärjestelmien toimintaa ja tiedonsiirtoa hallitaan BACnet-standardin mukaisilla tietomalleilla [23], [24].

Sekä IFC että BACnet tarjoavat rakenteisia ja koneluettavia tapoja tiedon esittämiseen. IFC soveltuu erityisesti rakennuksen fyysisten ominaisuuksien kuvaamiseen, kun taas BACnet tukee rakennusautomaatiojärjestelmien laitteiden, pisteiden ja toimintojen kuvaamista. Käytännössä rakennuksen tieto jakautuu kuitenkin usein useisiin erillisiin järjestelmiin, joiden välinen yhteentoimivuus on rajallista [23], [24].

Rakennusautomaation näkökulmasta keskeiseksi haasteeksi muodostuu tiedon merkityksen säilyminen järjestelmästä toiseen siirryttäessä. Tämän vuoksi rakennusalalla on kehitetty semanttisia tietomalleja, kuten Brick Schema, Project Haystack ja ASHRAE Standard 223, joiden tavoitteena on parantaa tiedon yhteistoimivuutta sekä mahdollistaa tiedon tehokkaampi hyödyntäminen eri järjestelmissä ja rakennuksen eri elinkaarivaiheissa [27], [28], [26].

Samanaikaisesti rakennusautomaatiojärjestelmien kasvava verkottuminen korostaa tietoturvan merkitystä. Rakennusautomaatio ei ole enää erillinen tekninen järjestelmä, vaan osa laajempaa digitaalista rakennusympäristöä, jossa tiedonhallinta, yhteentoimivuus ja tietoturva liittyvät kiinteästi toisiinsa [10].

3. Tutkimusaineisto ja -metodit

Tutkimuksen aineisto koostui asiantuntijahaastatteluista sekä yrityskonsortion kanssa toteutetuista työpajoista. Aineiston tavoitteena oli täydentää kirjallisuuskatsauksessa tunnistettuja havaintoja käytännön näkökulmilla sekä kerätä kehitysideoita rakennusautomaatiosuunnitelmien esitystavan ja tietosisällön kehittämiseksi.

Tutkimuksessa toteutettiin yhteensä yhdeksän asiantuntijahaastattelua, joista yksi toteutettiin kirjallisena vastauksena. Haastateltavat valittiin tarkoitushakuisella otannalla siten, että aineisto kattoi rakennusautomaatiohankkeen keskeisiä näkökulmia suunnittelun, toteutuksen, käyttöönoton ja ylläpidon kannalta. Haastateltavista neljä edusti kansainvälisiä rakennusautomaatioasiantuntijoita, yksi teollisuusautomaatiota, kaksi rakennusautomaatiourakointia ja kaksi rakennusten omistaja- tai ylläpidon näkökulmaa.

Haastattelut toteutettiin puolistrukturoituina haastatteluina, joissa käytettiin ennalta laadittua haastattelurunkoa, mutta haastatteluiden aikana oli mahdollista tarkentaa kysymyksiä ja syventää esiin nousseita aiheita [30]. Haastatteluiden keskeisiä teemoja olivat nykyiset dokumentointikäytännöt, suunnittelun ja toteutuksen yhteistyö, digitalisaatio, tietomallien hyödyntäminen, ylläpidon tiedontarpeet sekä rakennusautomaatiosuunnittelun kehitystarpeet. Haastattelut toteutettiin pääosin Microsoft Teams -alustalla, ja niiden kesto vaihteli noin 45 ja 90 minuutin välillä. Haastateltavien henkilöllisyyttä ei esitetä raportissa, vaan aineisto anonymisoitiin ennen analyysiä.

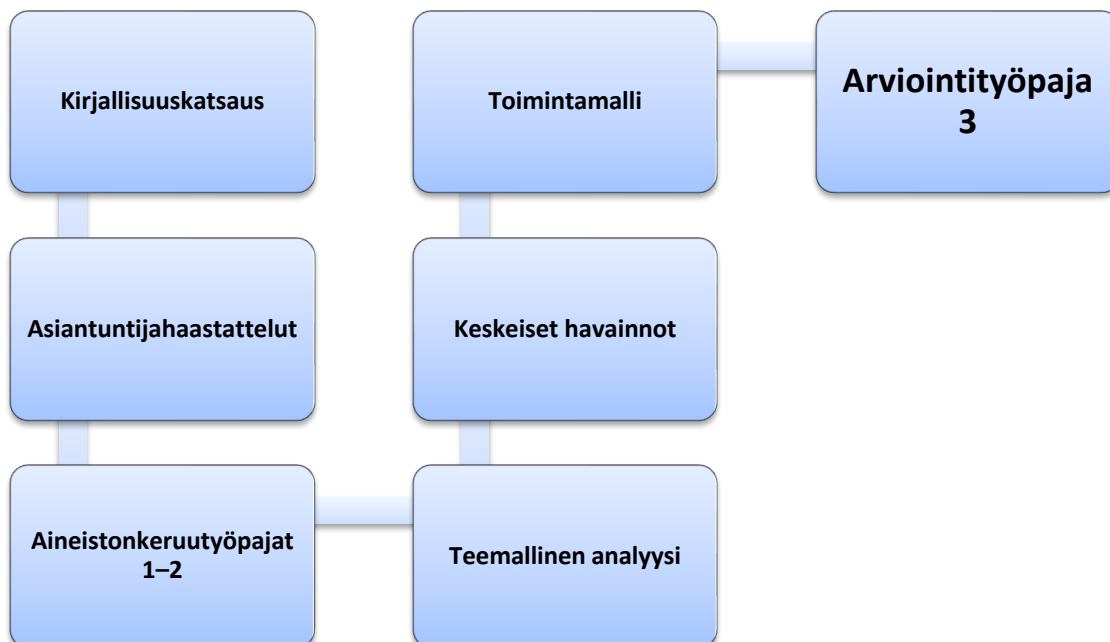
Haastatteluiden lisäksi tutkimuksessa järjestettiin kaksi varsinaista aineistonkeruutyöpajaa sekä yksi tulosten arviointiin keskittynyt työpaja. Työpajoihin osallistui yrityskonsortion asiantuntijoita sekä raportin ohjaajia. Osallistujat edustivat suunnittelun, urakoinnin, rakennusten omistamisen ja ylläpidon näkökulmia. Ensimmäiseen työpajaan osallistui yhdeksän henkilöä, toiseen työpajaan 15 henkilöä ja kolmanteen työpajaan 12 henkilöä. Työpajojen tavoitteena oli tunnistaa rakennusautomaatiosuunnittelun käytännön haasteita, arvioida haastatte luissa esiin nousseita havaintoja sekä muodostaa kehitysehdotuksia rakennusautomaatiosuunnitelmien esitystavan kehittämiseksi [31]. Työpajojen pääteemat ja roolit tutkimuksessa on avattu taulukossa 5.

Taulukko 4. Työpajojen teemat.

Työpaja	Ajankohta	Pääteema	Rooli tutkimuksessa
Työpaja 1	Tammikuu 2026	Rakennusautomaatiosuunnittelun nykytila, suunnittelun ja urakoinnin näkökulmat sekä kansainvälisten käytäntöjen vertailu.	Aineistonkeruu. Työpajassa tunnistettiin suunnittelun ja toteutusvaiheen keskeisiä haasteita sekä arvioitiin kirjallisuuskatsauksessa ja haastatteluissa esiin nousseita havaintoja.
Työpaja 2	Maaliskuu 2026	Rakennusautomaatiotiedon hyödyntäminen käyttöönotossa, ylläpidossa ja rakennuksen elinkaaren aikana.	Aineistonkeruu. Työpajassa tarkasteltiin erityisesti omistajan, käyttäjän ja ylläpidon tiedontarpeita sekä luovutusaineiston ja dokumentaation kehitystarpeita.
Työpaja 3	Toukokuu 2026	Tutkimuksen alustavat tulokset ja rakennusautomaatiosuunnittelun toimintamalli.	Tulosten arviointi. Työpajassa kerättiin palautetta toimintamallin käytännön sovellettavuudesta, käyttöönoton edellytyksistä ja vastuunjaosta.

Aineiston analysoinnissa hyödynnettiin kevyttä teemallista analyysiä. Haastatteluista ja työpajoista tunnistettiin tutkimuskysymysten kannalta keskeisiä havaintoja, jotka ryhmiteltiin yhteisten teemojen alle [32]. Teemojen muodostamisessa hyödynnettiin kirjallisuuskatsauksessa tunnistettuja aihealueita, mutta analyysissä huomioitiin myös aineistosta esiin nousseet uudet näkökulmat. Lisäksi haastatteluissa, työpajoissa ja kirjallisuuskatsauksessa tunnistettuja havaintoja verrattiin keskenään tutkimuksen luotettavuuden parantamiseksi.

Kirjallisuuskatsaus muodosti työn teoreettisen ja käytännöllisen taustan, jota täydennettiin asiantuntijahaastatteluilla sekä kahdella aineistonkeruutyöpajalla. Näiden aineistojen pohjalta muodostettiin tutkimuksen keskeiset havainnot ja rakennusautomaatiosuunnittelun toimintamalli. Tutkimuksen loppuvaiheessa järjestettyä kolmatta työpajaa hyödynnettiin toimintamallin käytännön sovellettavuuden ja käyttöönoton edellytysten arvioinnissa. Tutkimuksen eteneminen on esitetty kuvassa 4.



Kuva 1. Tutkimuksen eteneminen ja aineiston analysointi.

4. Tulokset

Tässä luvussa esitetään tutkimuksessa kerätyistä aineistoista tehdyt tärkeimmät havainnot, niiden merkitys käytännölle ja konkreettiset toimenpide-ehdotukset. Tavoitteena on tarjota selkeä ja käytännönläheinen kehityspolku rakennusautomaation suunnitelmadokumentation muuttamiseksi PDF-pohjaisesta muodosta koneluettavaksi ja elinkaaren aikana hyödynnettäväksi tiedoksi.

Tässä luvussa esitetyt tulokset perustuvat kirjallisuuskatsaukseen, yhdeksään asiantuntija-haastatteluun sekä kahteen aineistonkeruutyöpajaan. Kolmannen työpajan aineistoa hyödynnetään ensisijaisesti luvussa 5 toimintamallin käytännön sovellettavuuden arvioinnissa. Lisäksi tulosten taustalla hyödynnettiin kansainvälisiä ja kotimaisia standardeja sekä muuta aiheeseen liittyvää kirjallisuutta.

Aineisto analysoitiin temaattisesti: toistuvat teemat tunnistettiin, niiden esiintyvyys ja käytännön vaikutukset arvioitiin, ja työpajojen ehdotukset yhdistettiin havaintoihin. Tulokset on kirjoitettu siten, että ne johtavat selkeisiin ja toteuttamiskelpoisiin suosituksiin: mitä pitää tehdä, kuka vastaa ja miten siirtymä voidaan vaiheistaa.

4.1 Rakennusautomaatiosuunnittelun nykytila

Haastatteluiden ja työpajojen tavoitteena oli tunnistaa rakennusautomaatiosuunnittelun nykyisiin käytäntöihin liittyviä ongelmakohtia sekä kerätä näkemyksiä niiden kehittämisestä. Aineiston analyysissä havaittiin useita toistuvia teemoja, jotka liittyivät dokumentaation sisältöön, tiedonhallintaan, eri osapuolten väliseen yhteistyöhön sekä tiedon hyödyntämiseen rakennuksen elinkaaren aikana.

Havaitut ongelmat olivat pääosin samoja riippumatta siitä, edustiko vastaaja suunnittelua, urakointia, kiinteistön omistajaa vai muuta asiantuntijatahoa. Eroja esiintyi lähinnä siinä, missä projektin vaiheessa ongelmien nähtiin korostuvan.

Haastatteluissa ja työpajoissa tunnistetut haasteet ryhmiteltiin rakennushankkeen eri vaiheiden mukaan. Taulukko 5 kokoaa keskeiset havainnot ja niiden vaikutukset rakennusautomaatiotiedon hyödyntämiseen rakennuksen elinkaaren aikana.

Rakennushankkeen vaihe	Keskeiset haasteet	Vaikutus tietosisällön hyödyntämiseen
Esisuunnittelu	Tilaajan vaatimukset ja ylläpidon tarpeet jäävät usein puutteellisesti määritellyiksi. RAU-asiantuntemus osallistuu hankkeeseen usein liian myöhään.	Rakennusautomaation elinkaaren aikaiset tarpeet eivät ohjaa riittävästi suunnittelua, jolloin tiedon hyödyntäminen myöhemmissä vaiheissa vaikeutuu.
Suunnittelu ja hankinta	Dokumentaation sisältö ja tarkkuustaso vaihtelevat hankkeittain. Nimeämiskäytännöt, pistelistat ja tietosisällöt eivät ole yhtenäisiä.	Suunnitelmien tulkinnanvaraisuus lisääntyy, ja tiedon siirtyminen suunnittelusta toteutukseen vaatii manuaalista täydentämistä.
Toteutus	Muutokset eivät aina päivity suunnitelmiin. Rajapintojen koordinointi eri järjestelmien ja toimijoiden välillä on haastavaa. I/O- ja kaapelointitiedot tarkentuvat usein vasta toteutuksen aikana.	Dokumentaation ajantasaisuus heikkenee, ja eri osapuolilla voi olla käytössään toisistaan poikkeavia tietoja.
Testaus ja käyttöönotto	Testauskäytännöt ja testausdokumentaatio vaihtelevat. Toteutuneen järjestelmän vastaavuus suunnitelmiin nähden ei aina ole yksiselitteisesti todennettavissa.	Järjestelmän toiminnan todentaminen vaikeutuu, ja osa ongelmista voi siirtyä käyttöönotosta takuuajkaan tai ylläpitoon.
Käyttö ja ylläpito	Luovutusaineiston laatu ja ajantasaisuus vaihtelevat. Ylläpidon tarvitsema tieto on hajautunut eri dokumentteihin ja järjestelmiin.	Suunnittelutiedon käyttöarvo heikkenee rakennuksen käytön aikana, mikä vaikeuttaa ylläpitoa, viaremontointia, analytiikkaa ja myöhempiä muutostöitä.

Kuva 2. Rakennusautomaatiosuunnittelun keskeiset haasteet rakennushankkeen eri vaiheissa.

4.1.1 Suunnitteludokumentaatio ja varhainen osallistaminen

Haastatteluissa ja työpajoissa suunnitteluvaiheeseen liittyvät havainnot keskittyivät erityisesti dokumentaation sisältöön, laatuun sekä eri osapuolten väliseen yhteistyöhön. Useat haastattelut kokivat, että rakennusautomaatiosuunnitelmien sisältö ja tarkkuustaso vaihtelevat merkittävästi eri hankkeiden välillä. Erityisesti toimintakuvausten, järjestelmäkaavioiden sekä toteutuksessa tarvittavien yksityiskohtaisten tietojen osalta havaittiin eroja suunnittelijoiden ja organisaatioiden välillä.

Dokumentaation laadun vaihtelun nähtiin aiheuttavan haasteita erityisesti hankkeen myöhemmissä vaiheissa. Mikäli suunnitelmissa ei esitetä riittävän tarkasti järjestelmien toimintaa, rajapintoja tai toteutuksen kannalta olennaisia tietoja, joudutaan näitä täydentämään toteutusvaiheen aikana. Tämä lisää tulkinnanvaraisuutta sekä kasvattaa riskiä siihen, että eri osapuolet ymmärtävät suunnitelmien sisällön eri tavoin.

Haastatteluissa nousi toistuvasti esiin myös rakennusautomaatioasiantuntemuksen mukaan ottaminen hankkeen alkuvaihetta. Useiden vastaajien mukaan rakennusautomaatiosuunnittelijat tai -urakoitsijat osallistuvat hankkeisiin usein vasta siinä vaiheessa, kun merkittävä osa järjestelmäratkaisusta on jo määritelty. Tällöin automaation näkökulmasta keskeisiä vaatimuksia tai toteutukseen vaikuttavia tekijöitä joudutaan tarkastelemaan jälkikäteen. Erityisesti monimutkaisemmissa järjestelmissä tämän nähtiin vaikeuttavan eri osajärjestelmien yhteensovittamista sekä lisäävän muutostarpeita suunnittelun myöhemmissä vaiheissa.

Toinen usein esille noussut teema liittyi tilaajan lähtötietoihin ja vaatimusmäärittelyihin. Haastateltavien mukaan rakennusautomaatiojärjestelmän käyttöön, ylläpitoon ja tiedon hyö-

dyntämiseen liittyviä tarpeita ei aina määritellä riittävän tarkasti hankkeen alkuvaiheessa. Tämän seurauksena suunnittelun lähtötiedot voivat jäädä puutteellisiksi, mikä heijastuu myöhemmin sekä toteutukseen että rakennuksen käyttöön.

Lisäksi aineistossa korostui tiedon esittämisen ja nimeämisen epäyhtenäisyys. Laitteiden, pisteteiden ja toimintojen tunnuksot muodostetaan usein projektikohtaisesti, minkä vuoksi samankaltaisia järjestelmiä kuvataan eri hankkeissa eri tavoin. Haastateltavat näkivät tämän vaikeuttavan tiedon hyödyntämistä erityisesti silloin, kun tietoa siirretään suunnittelusta toteutukseen, käyttöönottoon tai ylläpitoon.

Yhteenvedon voidaan todeta, että suunnitteluvaiheen keskeisimmät haasteet liittyivät dokumentaation vaihtelevaan sisältöön, rakennusautomaatioasiantuntemuksen liian myöhän mukaan ottoon sekä tiedon esittämisen epäyhtenäisyyteen. Nämä teemat nousivat esiin useissa haastatteluissa sekä molemmissa työpajoissa, ja niiden nähtiin vaikuttavan koko rakennushankkeen myöhempiin vaiheisiin.

4.1.2 Toteutus, testaus ja käyttöönotto

Toteutusvaiheeseen liittyvät havainnot keskittyivät pääasiassa tiedonkulkuun, dokumentaation ylläpitoon sekä järjestelmien yhteensovittamiseen. Haastatteluissa ja työpajoissa tuotiin esiin, että hankkeen aikana tehtävät muutokset eivät aina päivity suunnitelmiin tai muuhun projektidokumentaatioon. Tämän seurauksena toteutuksen aikana syntyy tilanteita, joissa eri osapuolilla on käytössään toisistaan poikkeavia versioita samoista dokumenteista.

Useat haastateltavat pitivät dokumentaation ajantasaisuutta merkittävänä haasteena erityisesti silloin, kun toteutuksen aikana tehdään muutoksia laitteisiin, ohjelmointiin tai järjestelmien välisiin rajapintoihin. Mikäli muutoksia ei dokumentoida tarkasti, tiedon jäljitettävyyss heikkenee ja toteutuneen järjestelmän vastaavuus alkuperäisiin suunnitelmiin nähden vaikeutuu.

Toinen aineistossa usein esiin noussut teema liittyi eri järjestelmien ja toimittajien väliseen yhteensovittamiseen. Erityisesti hybridijärjestelmissä, joissa rakennusautomaatio liittyy useisiin teknisiin järjestelmiin ja toimittajiin, rajapintojen määrittely sekä vastuiden jakautuminen koettiin haastavaksi. Haastateltavat kuvasivat tilanteita, joissa järjestelmien väliset toiminnallisuudet tarkentuivat vasta toteutuksen aikana, mikä lisäsi koordinoinnin tarvetta sekä kasvatti käyttöönottoon liittyvää työmäärää.

Toteutusvaiheessa havaittiin myös puutteita toteutuksen kannalta keskeisessä dokumentaatioissa. Erityisesti I/O-listojen, kaapeliluetteloiden sekä kytkentäkuvien saatavuuden ja tarkkuuden todettiin vaihtelevan hankkeiden välillä. Useiden haastateltavien mukaan näiden tietojen puutteet johtavat ylimääräiseen selvitystyöhön sekä lisäävät virheiden mahdollisuutta toteutuksen aikana.

Testauksen ja käyttöönoton osalta aineistossa korostui yhtenäisten toimintatapojen puute. Haastateltavat arvioivat, että testauksen laajuus, dokumentointi ja käytetyt menetelmät vaih-

televat huomattavasti hankkeesta riippuen. Erityisesti toiminnallisten testien dokumentoinnissa nähtiin puutteita, minkä vuoksi kaikkien järjestelmien toimintaa ei pystytty myöhemmin todentamaan luotettavasti.

Useissa haastatteluissa tuotiin esiin myös se, että järjestelmien hienosäätöä ja toiminnallisten ongelmien korjaamista siirtyy käyttöönotosta takuu-aikaan. Tämän nähtiin liittyvän osittain testauksen vaihteleviin käytäntöihin sekä siihen, että järjestelmien toimintaa ei aina pystytty varmistamaan riittävän kattavasti ennen rakennuksen luovutusta.

Yhteenvetona toteutus-, testaus- ja käyttöönottovaiheen keskeisiksi haasteiksi tunnistettiin dokumentaation ajantasaisuuden ylläpito, eri toimijoiden välisen tiedonkulun varmistaminen, järjestelmien yhteensovittaminen sekä testauskäytäntöjen vaihtelevuus. Nämä teemat nousivat esiin sekä haastatteluissa että työpajoissa, ja niiden nähtiin vaikuttavan suoraan järjestelmien käyttöönoton onnistumiseen sekä myöhempään ylläpidettävyyteen.

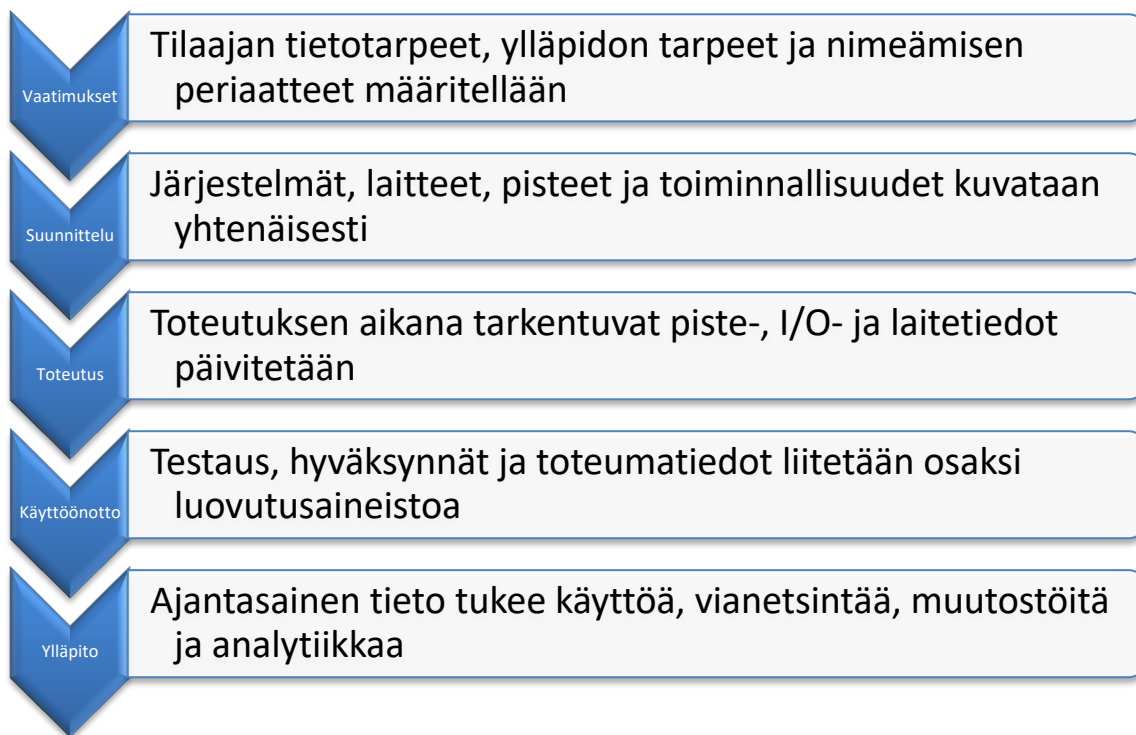
4.1.3 Käyttövaihe, ylläpito ja datan hyödyntäminen

Käyttö- ja ylläpitovaiheeseen liittyvät havainnot keskittyivät erityisesti tiedon saatavuuteen, laatuun sekä rakennusautomaatiojärjestelmien tuottaman datan hyödyntämiseen. Aineistossa korostui näkemys siitä, että rakennusautomaatiojärjestelmien merkitys ei rajoitu enää pelkästään rakennuksen ohjaukseen ja valvontaan, vaan niiden tuottamaa tietoa hyödynnetään yhä enemmän energiankulutuksen seurannassa, analytiikassa, toiminnan optimoinnissa sekä kunnossapidossa.

Haastatteluissa ja työpajoissa tuotiin esiin, että käyttö- ja ylläpitovaiheessa tarvittavan tiedon saatavuus vaihtelee merkittävästi hankkeiden välillä. Useiden osallistujien mukaan luovutettavat dokumentit eivät aina vastaa toteutunutta järjestelmää tai niiden sisältö jää puutteelliseksi ylläpidon näkökulmasta. Erityisesti päivitettyjen laiteluetteloiden, I/O-listojen, toimintakuvausten sekä testausdokumentaation saatavuudessa tunnistettiin puutteita.

Toinen keskeinen havainto liittyi laitteiden, pisteiden ja järjestelmien tunnuksiin. Haastattelut kokivat, että nimeämiskäytännöt vaihtelevat sekä organisaatioiden että yksittäisten projektien välillä. Tämä vaikeuttaa tiedon hyödyntämistä erityisesti silloin, kun tietoa yhdistetään useista eri lähteistä tai järjestelmistä. Mikäli suunnitelmissa, automaatiojärjestelmässä, valvomossa ja ylläpidodokumentaatioissa käytetään toisistaan poikkeavia tunnuksia, tiedon yhdistäminen vaatii usein manuaalista työtä.

Aineistossa korostui myös tiedon jatkuvuus rakennuksen elinkaaren aikana. Useat haastattelut kuvasivat tilanteita, joissa suunnitteluvaiheessa tuotettua tietoa ei pystytty hyödyntämään tehokkaasti käyttöönotossa, ylläpidossa tai myöhemmissä muutostöissä. Tiedon siirtyessä projektin vaiheesta toiseen osa tiedosta voi hävitä, muuttua tai jäädä päivittämättä, mikä heikentää tiedon luotettavuutta ja käyttökelpoisuutta. Kuvassa 5 on esitetty rakennusautomaatiotiedon jatkuvuuden tavoitetila rakennuksen elinkaaren aikana.



Kuva 3. Rakennusautomaatiotiedon jatkuvuus rakennuksen elinkaaren aikana.

Yhteenvedona voidaan todeta, että käyttö- ja ylläpitovaiheen keskeisimmät haasteet liittyivät dokumentaation laatuun, tiedon jatkuvuuteen sekä datan hyödyntämisen edellytyksiin. Erityisesti yhtenäisten tunnusten, ajantasaisen dokumentaation ja rakenteisen tiedon merkitys korostui lähes kaikissa käyttö- ja ylläpitovaihetta käsittelevissä keskusteluissa.

4.2 Rakennusautomaatiosuunnittelun toimintamalli

4.2.1 Tiedon kuvaamistavan muutos

Useat osallistujat kokivat, että nykyiset suunnitelmat painottuvat yksittäisten järjestelmien tekniseen kuvaamiseen, mutta niiden avulla on usein vaikea muodostaa kokonaiskuvaa järjestelmien toiminnasta, keskinäisistä riippuvuuksista tai rakennuksen automaatiojärjestelmän toimintaperiaatteista.

Nykyiset säätökaaviot ja järjestelmäkuvaukset koettiin edelleen tärkeiksi suunnittelun ja toteutuksen kannalta, mutta niiden nähtiin yksinään olevan riittämättömiä erityisesti käyttöönoton, ylläpidon sekä myöhempien muutostöiden näkökulmasta. Haastatteluissa korostui tarve kuvata nykyistä selkeämmin järjestelmien toimintaa, tietovirtoja sekä eri järjestelmien välisiä riippuvuuksia.

Työpajoissa nousi esiin myös suunnitelmien visuaaliseen esitystapaan liittyviä kehitystarpeita. Useat osallistujat kokivat, että nykyiset rakennusautomaatiosuunnitelmat sisältävät suuria määriä tietoa, mutta tiedon hahmottaminen kokonaisuutena on usein haastavaa. Tämän vuoksi suunnitelmien luettavuuden parantaminen nähtiin tärkeänä kehityskohteena. Erityisesti järjestelmien, toimintojen ja palvelualueiden selkeämpi erottaminen toisistaan koettiin hyödylliseksi.

Aineistossa nousi esiin myös tarve täydentää perinteisiä säätö- ja järjestelmäkaavioita laajemmilla kokonaiskuvauksilla. Tavoitteena ei ole korvata nykyisiä suunnitteludokumentteja, vaan täydentää niitä sellaisella tiedolla, joka helpottaa järjestelmien toiminnan ymmärtämistä rakennushankkeen eri vaiheissa. Erityisesti ylläpidon näkökulmasta korostui tarve kuvata järjestelmien toimintalogiikkaa nykyistä ymmärrettävämmässä muodossa.

Toimintamallissa tiedon kuvaamistavan muutoksen tavoitteena on parantaa suunnitelmien luettavuutta, tiedon löydettävyyttä sekä järjestelmien kokonaisvaltaista ymmärtämistä. Tämän saavuttamiseksi suunnitelmissa esitettävän tiedon rakennetta selkeytetään ja järjestelmien välisiä yhteyksiä kuvataan nykyistä kattavammin. Samalla pyritään varmistamaan, että suunnitteluvaiheessa tuotettu tieto säilyttää käyttöarvonsa myös toteutuksen, käyttöönoton ja ylläpidon aikana.

4.2.2 Semantiikka, nimeäminen ja koneluettavuus

Haastatteluissa ja työpajoissa nousi toistuvasti esiin tarve yhtenäisemmille nimeämiskäytännöille sekä rakenteiselle tiedolle. Erityisesti käyttö- ja ylläpitovaiheen toimijat korostivat, että rakennusautomaatiojärjestelmien tuottaman tiedon hyödyntämistä vaikeuttavat vaihtelevat tunnukset, epäyhtenäiset dokumentointikäytännöt sekä tiedon hajautuminen useisiin eri dokumentteihin ja järjestelmiin.

Nykyisissä rakennusautomaatiohankkeissa laitteiden, pisteiden ja toimintojen tunnukset muodostetaan usein projektikohtaisesti. Vaikka käytännöt voivat toimia yksittäisen hankkeen sisällä, tiedon hyödyntäminen useiden rakennusten tai järjestelmien välillä vaikeutuu. Haastatteluissa tuotiin esiin tilanteita, joissa samaa laitetta tai mittaus tietoa kuvataan eri projekteissa eri tavoin, mikä lisää manuaalisen työn määrää tiedon käsittelyssä ja analysoinnissa.

Kirjallisuuskatsauksessa sekä kansainvälisten asiantuntijoiden haastatteluissa nousi esiin semanttisten tietomallien kasvava merkitys rakennusautomaatiojärjestelmissä. Semantiikan avulla järjestelmässä oleva tieto voidaan kuvata tavalla, jossa tiedon merkitys on yksiselitteinen ohjelmistoille. Tällöin esimerkiksi laitteiden ominaisuuksia, sijaintia, järjestelmäyhteyksiä ja toiminnallisia riippuvuuksia voidaan käsitellä yhdenmukaisesti eri järjestelmissä.

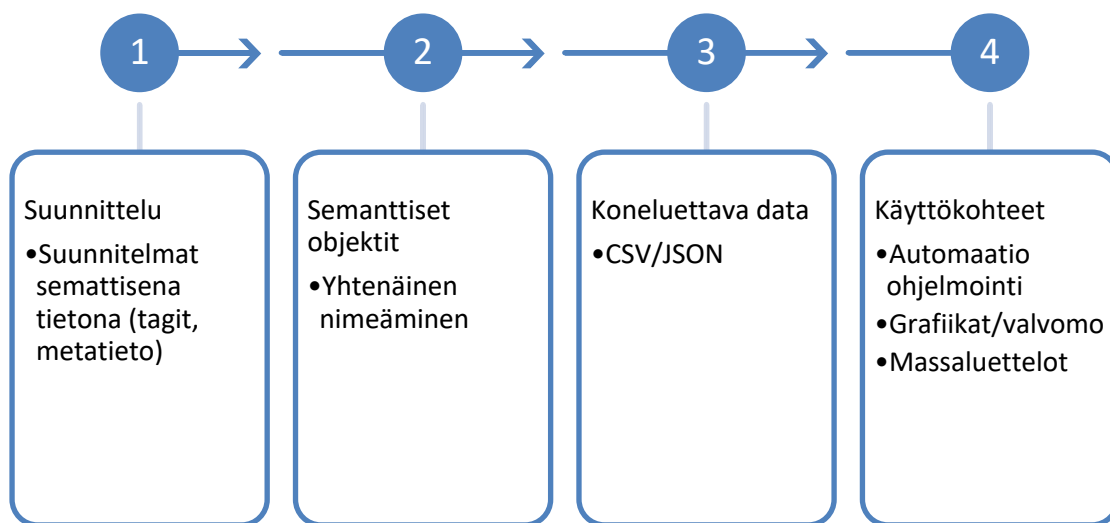
Toimintamallissa semanttisen tiedon käyttöönotto perustuu yhtenäisiin nimeämiskäytäntöihin sekä rakenteiseen tietomalliin. Lähtökohtana on, että sama tunnus säilyy yhdenmukaisena suunnittelussa, ohjelmoinnissa, valvomossa, käyttöön-otossa sekä ylläpidon dokumentaatioissa. Tämän avulla voidaan vähentää manuaalisia tiedonsiirtovaiheita ja parantaa tiedon jäljitettävyyttä rakennuksen elinkaaren aikana.

Haastatteluissa tunnistettiin lisäksi tarve hyödyntää suunnittelussa tuotettua tietoa nykyistä laajemmin myös toteutuksessa ja ylläpidossa. Tämän vuoksi toimintamallissa korostetaan koneluettavia tietosisältöjä, joiden avulla esimerkiksi laiteluetteloita, pistelistoja, massalueteloita ja testausaineistoja voidaan hyödyntää useissa eri käyttötarkoituksissa ilman erillistä manuaalista tiedon uudelleen käsittelyä. Lisäksi toistuvien ja yksinkertaisten järjestelmätoimin-

tojen osalta toimintaselostuksia voitaisiin vakioda esimerkiksi sekvenssikaavioiden tai valittavien toimintojen avulla. Tällöin suunnittelija voisi määrittää järjestelmän keskeiset ohjaus- ja säätöperiaatteet yhdenmukaisemmin kuin täysin vapaamuotoisessa tekstikuvauksessa.

Semanttisen tiedon käyttöönotto ei kuitenkaan edellytä olemassa olevien suunnittelukäytäntöjen täydellistä uudistamista. Toimintamallissa lähtökohtana on vaiheittainen käyttöönotto, jossa yhtenäinen nimeäminen ja rakenteinen tieto muodostavat perustan myöhemmälle semantiikan hyödyntämiselle. Tämän jälkeen tietosisältöjä voidaan täydentää kansainvälisesti käytetyillä semanttisilla malleilla, kuten Brick-, Haystack- ja ASHRAE 223P/B-viitekehyksillä. Toimintamallin tavoitteena on mahdollistaa tiedon tehokkaampi hyödyntäminen rakennuksen koko elinkaaren aikana sekä luoda edellytykset uusille analytiikka-, raportointi- ja integraatoratkaisuille. Samalla pyritään vähentämään päällekkäistä tiedonhallintaa sekä parantamaan tiedon laatua ja yhdenmukaisuutta eri järjestelmien välillä.

Semanttisen nimeämisen ja koneluettavuuden tavoitteena on muuttaa rakennusautomaatio-suunnitelmissa esitettävä tieto sellaiseen muotoon, että sitä voidaan hyödyntää myös muissa järjestelmissä ja rakennuksen myöhemmissä elinkaarivaiheissa. Tämä tarkoittaa, että suunnitelmissa esitettävät laitteet, pisteet ja toiminnot kuvataan yhtenäisillä tunnuksilla ja metatiedoilla. Tämän jälkeen tieto voidaan esittää rakenteisessa muodossa, kuten CSV- tai JSON-tiedostoina, jolloin sitä voidaan hyödyntää esimerkiksi automaatio-ohjelmoinnissa, valvomografiikoissa ja massaluetteloiden muodostamisessa. Kuvassa 9 on esitetty periaate suunnittelutiedon muuttamisesta semanttisesti kuvattuun ja koneluettavaan muotoon.



Kuva 4. Rakennusautomaation tietosisällön virtausmalli.

4.2.3 Prosessimuutokset ja versionhallintamalli

Haastatteluissa ja työpajoissa nousi toistuvasti esiin dokumentaation ajantasaisuuteen liittyviä haasteita. Erityisesti toteutusvaiheessa tehtävien muutosten todettiin jäävän usein päivittämättä suunnitelmiin tai muihin projektidokumentteihin. Tämän seurauksena eri osapuolilla voi olla käytössään toisistaan poikkeavia versioita samoista dokumenteista, mikä vaikeuttaa tiedon hyödyntämistä hankkeen myöhemmissä vaiheissa.

Useat haastateltavat kuvasivat tilanteita, joissa rakennuksen käyttö- ja ylläpitovaiheessa käytettävä dokumentaatio ei enää vastaa toteutunutta järjestelmää. Tämä lisää selvitystyön tarvetta erityisesti korjaus-, muutostyö- ja vianetsintätilanteissa. Ongelma korostuu rakennusautomaatiojärjestelmissä, joissa järjestelmien toiminnallisuudet, ohjelmistot ja rajapinnat voivat muuttua useita kertoja projektin aikana.

Toimintamallissa versionhallinnan tavoitteena on parantaa tiedon jäljitettävyyttä sekä varmistaa, että projektin aikana syntyvät muutokset dokumentoidaan järjestelmällisesti. Lähtökohdiana on, että kaikille keskeisille suunnittelu-, toteutus- ja käyttöönottodokumenteille voidaan tunnistaa yksiselitteinen voimassa oleva versio. Samalla muutosten historia säilyy myöhempää tarkastelua varten.

Versionhallinnan lisäksi aineistossa korostui laadunvarmistuksen merkitys. Haastatteluissa ja työpajoissa tunnistettiin tarve yhtenäisemmille käytännöille dokumenttien tarkastamisessa, hyväksymisessä ja julkaisemisessa. Useat osallistujat arvioivat, että dokumentaation laatu riippuu tällä hetkellä liikaa yksittäisten organisaatioiden tai henkilöiden toimintatavoista.

Toimintamallissa laadunvarmistus perustuu vaiheittaiseen tarkastus- ja hyväksyntäprosessiin, jossa dokumenttien sisältö, ajantasaisuus ja vaatimustenmukaisuus varmistetaan ennen niiden käyttöönottoa projektin seuraavassa vaiheessa. Tavoitteena on vähentää virheitä, parantaa tiedon luotettavuutta sekä varmistaa, että rakennuksen käyttö- ja ylläpitovaiheeseen siirtyvä tieto vastaa toteutunutta järjestelmää.

Versionhallinnan ja laadunvarmistuksen nähdään tukevan myös toimintamallin muita osa-alueita. Yhtenäinen nimeäminen, semanttinen tieto sekä koneluettavat tietosisällöt tuottavat lisäarvoa vain silloin, kun tieto pysyy ajan tasalla ja muutokset voidaan jäljittää luotettavasti koko rakennushankkeen ajan. Tämän vuoksi versionhallinta ja laadunvarmistus muodostavat keskeisen osan toimintamallia sekä tiedon elinkaaren hallintaa.

Versionhallinnan ja laadunvarmistuksen näkökulmasta rakennusautomaatiosuunnitelmien muutoksille tulisi määrittää selkeä käsittelyprosessi. Muutoksenhallinnan tavoitteena on varmistaa, että muutostarve tunnistetaan, muutoksen vaikutukset arvioidaan, muutos tarkastetaan ja hyväksytään ennen toteutusta sekä päivitetään lopuksi toteutussuunnitelmiin. Tämä parantaa suunnitelmien ajantasaisuutta ja muutosten jäljitettävyyttä erityisesti rakennushankkeen toteutus- ja käyttöönottovaiheessa. Kuvassa 8 on esitetty esimerkki rakennusautomaatiosuunnitelmien muutoshallinnan vaiheistuksesta.



Kuva 5. Rakennusautomaatiosuunnitelmien muutoshallinnan vaiheistus.

Kuvassa esitetty vaiheistus korostaa, että muutosten hallinta ei rajoitu pelkkään tekniseen toteutukseen. Jokaisella muutoksella tulisi olla tunnistettu lähtökohta, vastuuhenkilö, tarkastus- ja hyväksyntävaihe sekä dokumentoitu aikataulu. Kun toteutuksen jälkeen päivitetty suunnitelma julkaistaan hallitusti, voidaan varmistaa, että hankkeen osapuolilla ja myöhemmin ylläpidolla on käytössään ajantasainen tieto.

4.2.4 Toimintamallin yhteenveto

Tutkimuksen tuloksena muodostettu rakennusautomaatiosuunnittelun toimintamalli koostuu tiedon kuvaamistavan muutoksesta, semantiikkaan perustuvasta tietomallista sekä versionhallinnan ja laadunvarmistuksen toimintamalleista. Toimintamallin tavoitteena on parantaa rakennusautomaatiosuunnittelussa tuotettavan tiedon laatua, yhdenmukaisuutta ja hyödynnettävyyttä rakennuksen koko elinkaaren ajan.

Toimintamallin ensimmäinen osa-alue keskittyy tiedon kuvaamistavan kehittämiseen. Tavoitteena on parantaa suunnitelmien luettavuutta sekä mahdollistaa järjestelmien toiminnan, riippuvuuksien ja kokonaisuuksien nykyistä selkeämpi esittäminen. Toinen osa-alue liittyy yhtenäisiin nimeämiskäytäntöihin, semanttiseen tietomalliin sekä koneluettaviin tietosisältöihin. Näiden avulla suunnittelussa tuotettua tietoa voidaan hyödyntää tehokkaammin toteutuksessa, käyttöönotossa, ylläpidossa ja analytiikassa.

Kolmas osa-alue muodostuu versionhallinnan ja laadunvarmistuksen käytännöistä. Niiden avulla pyritään varmistamaan tiedon ajantasaisuus, muutosten jäljitettävyyys sekä dokumentaation luotettavuus rakennushankkeen eri vaiheissa. Samalla luodaan edellytykset sille, että suunnittelussa tuotettu tieto säilyy käyttökelpoisena myös rakennuksen myöhemmissä elinkaarivaiheissa.

Toimintamalli ei ole sidottu tiettyyn ohjelmistoon, järjestelmään tai toteutustapaan, vaan se määrittelee periaatteet, joiden avulla rakennusautomaatiosuunnittelussa tuotettavaa tietoa voidaan hallita nykyistä yhdenmukaisemmin. Toimintamallin tavoitteena on vastata haastateluissa, työpajoissa ja kirjallisuuskatsauksessa tunnistettuihin haasteisiin sekä luoda pohja rakennusautomaatiosuunnittelun tulevalle kehitykselle.

Toimintamallin osa-alueet vastaavat tutkimuksessa tunnistettuihin rakennusautomaatiosuunnittelun haasteisiin. Taulukossa 6 on koottu keskeiset haasteet, niihin liittyvät toimintamallin osa-alueet sekä tavoitellut hyödyt rakennusautomaatiotiedon elinkaaren aikaisen hyödyntämisen näkökulmasta.

Taulukko 5. Toimintamallin osa-alueet ja niiden yhteys tunnistettuihin haasteisiin.

Tunnistettu haaste	Toimintamallin osa-alue	Tavoiteltu hyöty
Dokumentaation sisältö ja tarkkuustaso vaihtelevat hankkeittain.	Yhtenäiset tietosisällöt ja vähimmäisvaatimukset rakennusautomaatiosuunnitelmille.	Suunnitelmien tulkinvaraisuus vähenee ja eri hankkeiden dokumentaation taso yhtenäistyy.
Rakennusautomaatiotieto on hajautunut useisiin dokumentteihin ja järjestelmiin.	Tiedon kuvaamistavan kehittäminen ja dokumenttien välisten yhteyksien selkeyttäminen.	Kokonaiskuva järjestelmän toiminnasta, riippuvuuksista ja tiedon sijainnista paranee.
Nimeämiskäytännöt eivät ole yhtenäisiä eri hankkeissa tai järjestelmissä.	Semanttinen nimeäminen ja yhtenäinen tunnusraakenne.	Tieto on helpommin yhdistettävissä eri järjestelmien, dokumenttien ja elinkaarivaiheiden välillä.
Suunnittelutieto ei ole riittävästi koneellisesti hyödynnettävää.	Koneluettavat tietosisällöt, kuten rakenteiset piste-listat, I/O-listat ja laiteluettelot.	Tietoa voidaan hyödyntää paremmin urakoinnissa, käyttöönotossa, ylläpidossa, analytiikassa ja jatkokehityksessä.
Toteutuksen aikana syntyvät muutokset eivät aina päivitty suunnitelmiin.	Versionhallinta, muutoshistoria ja hyväksyntäkäytännöt.	Dokumentaation ajantasaisuus ja muutosten jäljitettävyyden paranevat.
Luovutusaineiston laatu ja hyödynnettävyys vaihtelevat.	Laadunvarmistus ja selkeästi määritellyt luovutusaineistovaatimukset.	Käyttöönotto, ylläpito ja myöhemmät muutostyöt perustuvat luotettavampaan tietoon.
Ylläpidon ja käyttöorganisaation tarpeet huomioidaan liian myöhään.	Elinkaarilähtöinen tiedonhallinta ja varhaisempi vaatimusten määrittely.	Suunnitteluvaiheessa tuotettu tieto palvelee paremmin rakennuksen käyttöä ja ylläpitoa.

Taulukko 6 korostaa sitä, että toimintamalli ei perustu yksittäiseen tekniseen ratkaisuun, vaan useiden toisiaan tukevien käytäntöjen yhdistelmään. Tiedon kuvaamistavan kehittäminen, semanttinen nimeäminen, koneluettavat tietosisällöt, versionhallinta ja laadunvarmistus muodostavat kokonaisuuden, jonka käytännön sovellettavuus riippuu myös hankkeen vastuunjaosta, tilaajavaatimuksista ja osapuolten sitoutumisesta. Näitä näkökulmia tarkastellaan seuraavassa luvussa.

5. Pohdinta

Toimintamallin käytännön sovellettavuutta arvioitiin erityisesti tutkimuksen loppuvaiheessa järjestetyssä kolmannessa työpajassa. Työpajassa käsiteltiin toimintamallin osa-alueita, niiden käyttöönoton edellytyksiä sekä eri osapuolten vastuunjako.

5.1 Toimintamallin käytännön sovellettavuus

Tutkimuksen loppuvaiheessa muodostettua toimintamallia käsiteltiin yrityskonsortion kanssa järjestetyssä kolmannessa työpajassa. Työpajan tavoitteena oli arvioida, miten tutkimuksessa esitetyt kehitysideat voisivat toimia käytännössä ja millaisia edellytyksiä niiden käyttöönotto vaatisi. Ryhmätyöskentelyssä osallistujat kommentoivat erityisesti tiedon kuvaamistavan muutoksia, semanttista nimeämistä, koneluettavia tietosisältöjä, versionhallintaa sekä eri osapuolten vastuunjako.

Työpajan perusteella toimintamallin osa-alueet nähtiin pääosin tarpeellisina, mutta niiden toteuttaminen ei ole pelkästään tekninen kysymys. Keskusteluissa korostui, että yhtenäiset nimeämiskäytännöt, koneluettavat tietosisällöt ja versionhallinta edellyttävät yhteisiä ohjeita, tilaajavaatimuksia sekä vastuiden määrittelyä. Toimintamallin hyöty riippuu siitä, saadaankon sen periaatteet osaksi rakennushankkeen normaalia suunnittelu-, toteutus- ja luovutusprosesseja.

Tiedon kuvaamistavan osalta työpajassa korostui erityisesti suunnitelmien visuaalinen selkeys. Värien hyödyntäminen nähtiin mahdollisena keinona parantaa suunnitelmien luettavuutta ja helpottaa järjestelmäkokonaisuuksien hahmottamista. Tämä voisi tukea erityisesti käyttöönottoa, ylläpitoa ja vianetsintää, joissa suunnitelmien nopea ymmärrettävyys on tärkeää. Samalla tuotiin esiin, että visuaalisuuden kehittäminen edellyttää yhteisesti sovittuja esitystapoja. Jos värien, symbolien tai palvelualueiden merkitystä ei määritellä yhtenäisesti, voi visuaalinen esitystapa lisätä tulkinnanvaraisuutta sen sijaan, että se vähentäisi sitä.

Semanttisen nimeämisen ja yhtenäisten tunnusten osalta työpajassa tunnistettiin sekä mahdollisuuksia että käytännön haasteita. Nimeämiskäytäntöjä pidettiin tärkeänä perustana rakennusautomaatitiedon paremmalle hyödyntämiselle, mutta keskusteluissa nousi esiin myös tunnusten pituus, käytettävyys ja eri suunnittelualojen välinen vastuunjako. Yhtenä ratkaisuna esitettiin kahden tason nimeämistä, jossa järjestelmällä tai pisteellä voisi olla sekä ihmiselle ymmärrettävä käyttönimi että koneellisesti hyödynnettävä semanttinen tunnus. Tämä voisi

parantaa tiedon käytettävyyttä eri tilanteissa, koska sama tieto palvelisi sekä päivittäistä käyttöä että rakenteista tiedonkäsittelyä.

Prosessimuutosten osalta työpajassa korostui erityisesti versionhallinnan, suunnitelmien omistajuuden ja vastuunjaon merkitys. Keskusteluissa tuotiin esiin, että tilaajilla ei aina ole käytössään ajantasaista suunnitelma-arkistoa, vaikka rakennusautomaatiosuunnitelmien arvo korostuu juuri rakennuksen käytön ja ylläpidon aikana. Tämän vuoksi toimintamallin käytännön soveltaminen edellyttää, että suunnitelmien ylläpidolle, päivityksille ja hyväksynnälle määritellään selkeä prosessi. Versionhallinta ei siten ole ainoastaan tekninen ratkaisu, vaan osa laajempaa tiedonhallinnan toimintatapaa.

Toimintamallin sovellettavuuden kannalta on tärkeää, että kehitysehdotukset eivät lisää suunnitteluun tarpeetonta monimutkaisuutta. Työpajassa tuotiin esiin, että esimerkiksi toimintaselostusten ja sekvenssien kehittämisessä tulisi tavoitella ensisijaisesti selkeyttä ja yhdenmukaisuutta. Rakennusautomaatiossa toistuu paljon samankaltaisia järjestelmiä ja toimintoja, minkä vuoksi kehittämisessä voisi olla hyödyllistä pyrkiä vakioituihin järjestelmäkohtaisiin toimintamalleihin ja selkeisiin valintoihin. Tällöin suunnittelun laatu voisi parantua ilman, että suunnitteluprosessi muuttuu liian raskaaksi.

Toimintamallia ei ole tarkoituksenmukaista ottaa käyttöön kerralla täydessä laajuudessa. Käytännön soveltaminen voisi alkaa rajatuista osa-alueista, kuten yhtenäisistä nimeämiskäytännöistä, koneluettavista pistelistoista tai ajantasaisen luovutusaineiston vaatimuksista. Näiden avulla voitaisiin ensin testata, miten rakenteisempi tiedonhallinta toimii todellisessa hankkeessa. Laajemmat semanttiset tietomallit, versionhallintakäytännöt ja laadunvarmistusprosessit voitaisiin ottaa käyttöön vaiheittain, kun toimintatavat ovat vakiintuneet ja niiden hyödyt on pystytty osoittamaan käytännössä.

5.2 Käyttöönoton edellytykset ja vastuunjako

Toimintamallin käyttöönotto ei ole pelkästään tekninen muutos, vaan se edellyttää muutoksia rakennushankkeen tiedonhallintaan, vastuunjakoon ja toimintatapoihin. Yhtenäiset nimeämiskäytännöt, koneluettavat tietosisällöt, versionhallinta ja laadunvarmistus eivät tuota hyötyä, jos niitä ei sidota hankkeen normaaleihin suunnittelu-, toteutus- ja luovutusprosesseihin. Tämän vuoksi toimintamallin käyttöönotossa on keskeistä määrittää, kuka vastaa tiedon tuottamisesta, tarkastamisesta, hyväksymisestä ja ylläpidosta rakennuksen elinkaaren eri vaiheissa.

Tilaajan rooli korostuu erityisesti hankekohtaisten vaatimusten määrittelyssä, mutta toimintamallin käyttöönotto ei voi perustua pelkästään yksittäisten tilaajaorganisaatioiden omiin ohjeisiin. Nykytilanteessa rakennusautomaatiosuunnittelun dokumentaatiovaatimukset voivat vaihdella merkittävästi sen mukaan, millaiset resurssit ja osaaminen tilaajalla on käytettävissään. Tämän vuoksi alalle tarvittaisiin yhteisesti määriteltyjä vähimmäisvaatimuksia ja toimintatapoja, jotka ohjaisivat rakennusautomaatiosuunnitelmien tietosisältöä, nimeämistä, koneluettavuutta ja luovutusaineistoja tilaajaorganisaatiosta riippumatta.

Toimintamallin käyttöönoton kannalta vastuunjako voidaan tarkastella usealla tasolla. Taulukossa 7 on esitetty toimintamallin käyttöönoton keskeiset vastuut alan yhteisen toimintatavan, tilaajan, suunnittelijoiden, urakoitsijoiden, valvonnan sekä ylläpidon näkökulmista.

Taulukko 6. Toimintamallin käyttöönoton vastuunjaon tasot.

Taso/osapuoli	Keskeinen vastuu	Merkitys toimintamallin käyttöönotossa
Alan yhteinen toimintatapa	Määritellään rakennusautomaatiosuunnitelmien vähimmäisvaatimukset, nimeämisen periaatteet, koneluettavat tietosisällöt ja luovutusaineiston perustaso.	Luo yhtenäisen pohjan, jonka avulla suunnittelun laatu ei riipu pelkästään yksittäisen tilaajaorganisaation osaamisesta tai resursseista.
Tilaajan hankekohtaiset vaatimukset	Sovelletaan alan yhteisiä periaatteita hankkeen tarpeisiin ja määritellään, mitä tietoa hankkeessa tarvitaan, missä muodossa se luovutetaan ja kuka sitä ylläpitää.	Varmistaa, että toimintamalli ohjaa käytännön hanketta ja että vaatimukset sisältyvät tarjouspyyntöihin, suunnitteluohjeisiin ja sopimusasiakirjoihin.
Suunnittelijat	Tuottavat suunnitteluvaiheen tiedon sovitussa muodossa ja varmistavat, että laite-, järjestelmä- ja pistetiedot muodostavat yhtenäisen kokonaisuuden.	Mahdollistaa tiedon siirtymisen suunnittelusta toteutukseen ja myöhemmin ylläpitoon.
RAU-urakoitsija ja tuotetoimittajat	Täydentävät ja päivittävät toteutusvaiheen pistelistat, I/O-listat, ohjelmointitiedot, laitetiedot ja toteumatiedot sovitussa muodossa.	Varmistaa, että toteutuksen aikana tarkentuva tieto siirtyy tilaajalle hyödynnettävässä muodossa.
RAU-valvoja tai tilaajan asiantuntija	Tarkastaa tiedon laadun, ajantasaisuuden, nimeämiskäytäntöjen noudattamisen ja luovutusaineiston vaatimustenmukaisuuden.	Toimii laadunvarmistuksen ja hyväksynnän vastuuroolissa.
Ylläpito ja kiinteistönhallinta	Hyödyntää luovutettua tietoa ja vastaa siitä, että rakennuksen käytön aikana tehtävät muutokset päivitetyt sovittuun suunnitelma-arkistoon.	Mahdollistaa tiedon säilymisen käyttökelpoisena rakennuksen koko elinkaaren ajan.

Taulukossa 7 esitetty vastuunjako korostaa, että toimintamallin käyttöönotto edellyttää sekä alan yhteisiä periaatteita että hankekohtaista soveltamista. Tilaajan tehtävänä on määrittää hankekohtaiset tavoitteet ja käyttötarpeet, mutta suunnittelijoiden, urakoitsijoiden, valvojien ja ylläpidon tehtävät tulee määritellä yhtä selkeästi. Näin toimintamalli voi toimia sekä yleisenä suunnittelun laatutasoa nostavana periaatteena että yksittäisen hankkeen tiedonhallintaa ohjaavana käytännön työkaluna.

Suunnittelijoiden rooli liittyy erityisesti tiedon tuottamiseen ja sen yhdenmukaiseen esittämiseen. Rakennusautomaatiosuunnittelussa hyödynnetään paljon muiden suunnittelualojen tuottamaa lähtötietoa, kuten LVI-järjestelmien laitetunnuksia, palvelualueita ja toimintaperiaatteita. Tämän vuoksi yhtenäinen nimeäminen ja koneluettavat tietosisällöt eivät voi olla pelkästään RAU-suunnittelijan vastuulla, vaan ne edellyttävät eri suunnittelualojen välistä yhteistyötä.

Toteutusvaiheessa RAU-urakoitsijan ja tuotetoimittajien rooli korostuu, koska suuri osa lopullisesta piste-, laite- ja järjestelmätiedosta tarkentuu vasta toteutuksen aikana. Jotta nämä tiedot säilyvät käyttökelpoisina myös rakennuksen käytön aikana, niiden tulisi siirtyä tilaajalle rakenteisessa ja tarvittaessa koneluettavassa muodossa. RAU-valvojan tai tilaajan nimeämän automaatioasiantuntijan tehtävänä on tarkastaa, että sovitut nimeämiskäytännöt, rakenteiset tietosisällöt ja luovutusaineiston vaatimukset toteutuvat hankkeen aikana.

Ylläpidon ja kiinteistönhallinnan näkökulmasta toimintamallin keskeinen tavoite on varmistaa, että rakennusautomaatiosuunnitelmat eivät jää vain rakennushankkeen aikaisiksi dokumenteiksi. Käytön aikana rakennukseen tehdään usein muutoksia, järjestelmiä säädetään ja laitteita uusitaan, jolloin suunnitelmien ajantasaisuus voi heikentyä. Tämän vuoksi rakennuksen omistajalla ja ylläpidolla tulisi olla käytössä selkeä suunnitelma-arkisto ja toimintatapa, jonka avulla muutokset päivitetään samoihin tietosisältöihin myös hankkeen päättymisen jälkeen.

Toimintamallin onnistunut käyttöönotto edellyttää sekä alan yhteisiä periaatteita että hankekohtaista soveltamista. Ensimmäisessä vaiheessa olisi realistista keskittyä sellaisiin osa-alueisiin, jotka ovat käytännössä helposti määriteltävissä ja joiden hyödyt näkyvät nopeasti hankkeen eri osapuolille. Tällaisia ovat esimerkiksi yhtenäiset nimeämiskäytännöt, koneluettavat pistelistat, laiteluettelot ja I/O-listat sekä selkeämmät luovutusaineistovaatimukset. Näiden jälkeen toimintamallia voitaisiin laajentaa versionhallinnan, laadunvarmistuksen ja semanttisen tietomallin laajempaan hyödyntämiseen.

5.3 Jatkotoimenpiteet

Tämän työn perusteella keskeisin jatkotoimenpide liittyy toimintamallin pilotointiin todellisissa rakennusautomaatiorakennuksissa. Tässä työssä toimintamalli muodostettiin kirjallisuuskatsauksen, haastatteluiden ja kahden aineistonkeruutyöpajan perusteella, ja sen käytännön sovellettavuutta arvioitiin kolmannessa työpajassa. Toimintamallin toimivuutta ei kuitenkaan vielä testattu varsinaisessa rakennushankkeessa. Pilotoinnin avulla voitaisiin arvioida, miten toimintamalli toimii eri hankevaiheissa, millaisia hyötyjä se tuottaa eri osapuolille ja millaisia käytännön haasteita sen käyttöönottoon liittyy.

Tutkimuksen rajoitteena on, että aineisto perustuu rajalliseen määrään asiantuntijahaastatteluja ja työpajoja. Aineisto tarjosi monipuolisia näkökulmia rakennusautomaatiosuunnittelun nykytilaan ja kehitystarpeisiin, mutta ei kata kaikkia rakennusautomaatioalan toimijoita tai hanketyyppejä. Tuloksia ei siten tule tulkita tilastollisesti yleistettävänä, vaan ne kuvaavat tutkimukseen osallistuneiden asiantuntijoiden näkemyksiä ja kokemuksia. Lisäksi kolmas työpaja toimi toimintamallin arviointi- ja kommentointitilaisuutena, eikä sitä voida pitää varsinaisena toimintamallin pilotointina.

Jatkossa olisi tarpeen tarkentaa erityisesti yhtenäisiä nimeämiskäytäntöjä ja koneluettavia tietosisältöjä. Työssä esitetty toimintamalli antaa tähän yleisen suunnan, mutta käytännön toteutus edellyttää tarkempia määrittelyjä esimerkiksi pistelistojen, I/O-listojen, laiteluetteloiden, hälytyslistojen ja luovutusaineistojen osalta. Lisäksi tulisi selvittää, miten ihmiselle ymmärrettävä käyttönimi ja koneellisesti hyödynnettävä semanttinen tunnus voidaan yhdistää siten, että ne palvelevat sekä suunnittelua, toteutusta että ylläpitoa.

Semanttisten tietomallien soveltaminen suomalaisiin rakennusautomaatiorakennuksiin muodostaa myös tärkeän jatkokehityskohteen. Brickin, Haystackin ja ASHRAE 223P kaltaiset mallit tarjoavat mahdollisuuksia rakennusautomaatiotiedon yhdenmukaistamiseen, mutta niiden

käytännön soveltaminen vaatii vielä testausta suomalaisissa hankkeissa. Erityisesti tulisi arvioida, millainen semanttinen taso on riittävä eri käyttötarkoituksiin ja miten se voidaan toteuttaa ilman, että suunnitteluprosessi muuttuu liian raskaaksi.

Lisäksi jatkokehityksessä tulisi tarkastella versionhallinnan ja ajantasaisen suunnitelma-arkiston käyttöä rakennuksen elinkaaren aikana. Rakennusautomaatiosuunnitelmien arvo ei rajoitu rakennushankkeen toteutusvaiheeseen, vaan niiden tulisi säilyä käyttökelpoisina myös ylläpidossa, muutostöissä ja järjestelmien kehittämisessä. Tämän vuoksi olisi tarpeen tutkia, miten suunnitelmien päivitykset, vastuuhenkilöt, hyväksynät ja muutoshistoria voidaan hallita käytännössä rakennuksen käytön aikana.

Rakenteinen ja koneluettava suunnittelutieto voi tulevaisuudessa mahdollistaa myös uusien digitaalisten työkalujen hyödyntämisen. Esimerkiksi kiinteistöhallintajärjestelmät, analytiikka ja tekoälypohjaiset työkalut voivat hyötyä siitä, että rakennusautomaatiotieto on yhteisessä ja koneellisesti tulkittavassa muodossa. Näiden mahdollisuuksien tarkempi arviointi edellyttää kuitenkin käytännön kokeiluja, joissa suunnittelutiedon laatu, rakenne ja hyödynnettävyys voidaan todentaa todellisissa käyttötapauksissa.

6. Yhteenveto

Tämän raportin tavoitteena oli tarkastella rakennusautomaatiosuunnitelmien tietosisällön ja esitystavan nykytilaa sekä tunnistaa keinoja, joilla suunnittelutietoa voidaan hyödyntää paremmin rakennuksen koko elinkaaren aikana. Työn lähtökohtana oli havainto siitä, että rakennusautomaatiosuunnitelmat palvelevat usein ensisijaisesti hankintaa, urakkarajausta ja toteutusta, mutta niiden käyttöarvo voi heikentyä käyttöönoton, ylläpidon ja myöhemmän tiedonhallinnan näkökulmasta.

Ensimmäinen tutkimuskysymys käsitteli rakennusautomaatiosuunnitelmien nykyisten esitystapojen ja tietosisältöjen keskeisiä haasteita rakennushankkeen eri vaiheissa. Tutkimuksen perusteella keskeiset haasteet liittyvät dokumentaation vaihtelevaan sisältöön, tiedon hajanaisuuteen, epäyhtenäisiin nimeämiskäytäntöihin sekä dokumenttien ajantasaisuuteen. Suunnitelmat tuotetaan usein ensisijaisesti tarjouslaskentaa, urakkarajausta ja toteutusta varten, jolloin rakennuksen käyttö- ja ylläpitovaiheen tarpeet jäävät vähäisemmälle huomiolle. Tämän seurauksena suunnitteluvaiheessa tuotettu tieto ei aina siirry selkeässä ja käyttökelpoisessa muodossa toteutukseen, käyttöönottoon ja rakennuksen ylläpitoon.

Toinen tutkimuskysymys koski sitä, millaiset tietosisällöt, kuvaustavat ja tiedonhallintakäytännöt tukevat rakennusautomaatiotiedon hyödyntämistä rakennuksen koko elinkaaren aikana. Tutkimuksen perusteella tätä tavoitetta tukevat erityisesti yhtenäiset nimeämiskäytännöt, rakenteiset ja koneluettavat tietosisällöt, semanttisen tietomallin hyödyntäminen sekä suunnitelmien ajantasaisuutta tukeva versionhallinta. Suunnittelussa tuotetun tiedon tulisi säilyä ymmärrettävänä ja jäljitettävänä suunnittelusta toteutukseen, käyttöönottoon, ylläpitoon ja myöhempiin muutostöihin asti.

Kolmas tutkimuskysymys käsitteli sitä, miten rakennusautomaatiosuunnittelun tiedonhallintaa, koneluettavuutta ja ylläpidettävyyttä voidaan parantaa. Työn tuloksena muodostettiin rakennusautomaatiosuunnitelmien tiedonhallintaa tukeva toimintamalli. Toimintamalli koostuu tiedon kuvaamistavan kehittämisestä, yhtenäisistä nimeämiskäytännöistä, semanttisen tietomallin hyödyntämisestä, koneluettavista tietosisällöistä sekä versionhallinnan ja laadunvarmistuksen käytännöistä. Toimintamallin tavoitteena ei ole korvata nykyisiä rakennusautomaatiosuunnitelmia, vaan täydentää niitä siten, että suunnittelussa tuotettu tieto palvelisi paremmin myös käyttöönottoa, ylläpitoa ja rakennusautomaatiojärjestelmien tuottaman datan jatkohyödyntämistä.

Toimintamallin käyttöönotto edellyttää sekä alan yhteisiä periaatteita että hankekohtaista soveltamista. Tilaajan rooli on keskeinen vaatimusten asettamisessa, mutta myös suunnittelijoiden, urakoitsijoiden, valvojien ja ylläpidon vastuut tulee määritellä selkeästi. Ilman selkeää

vastuunjakoa yhtenäiset nimeämiskäytännöt, koneluettavat tietosisällöt ja versionhallinta voivat jäädä irrallisiksi kehitystoimiksi. Osaksi hankkeen normaaleja sopimus-, suunnittelu-, toteutus- ja ylläpitoprosesseja sidottuna ne voivat kuitenkin parantaa rakennusautomaatitiedon laatua ja hyödynnettävyyttä koko rakennuksen elinkaaren aikana.

Tämän työn perusteella rakennusautomaatiosuunnittelun kehittämisessä tulisi edetä vaiheittain. Ensimmäisessä vaiheessa tulisi määrittää rakennusautomaatiosuunnitelmien vähimmäistietosisältö, yhtenäiset nimeämisperiaatteet sekä rakenteiset piste-, laite-, I/O- ja luovutusaineistot. Seuraavassa vaiheessa toimintamallia tulisi pilotoida todellisessa rakennusautomaatiahankkeessa, jotta sen käytännön toimivuutta, hyötyjä ja käyttöönoton haasteita voidaan arvioida. Pitkällä aikavälillä tavoitteena on siirtyä kohti rakenteisempaa ja elinkaarilähtöisempää tiedonhallintaa, jossa suunnitteluvaiheessa tuotettu tieto säilyy hyödynnettävänä myös toteutuksen, käyttöönoton, ylläpidon ja myöhempien muutostöiden aikana.

Lähdeluettelo

- [1] Rakennustieto, ”kortistot.rakennustieto.fi,” Rakennustieto, 1992. [Online]. Available: https://ryl-cms.rakennustieto.fi/wp-content/uploads/2021/11/4-Rakennusautomaatio.pdf?utm_source=copilot.com. [Haettu 13 2 2026].
- [2] Tampereen tilapalvelut, ”www.tampereentilapalvelut.fi,” Tampereen tilapalvelut, 1 10 2020. [Online]. Available: https://tampereentilapalvelut.fi/materiaalit/suunnitteluohjeet/RAU_SUUNNITTELUO HJE.pdf. [Haettu 12 2 2026].
- [3] Lappeenrannan toimitilat OY, ”www.lappeenranta.fi/lato,” Lappeenrannan toimitilat OY, 17 5 2024. [Online]. Available: https://www.lappeenrannantoomitilat.fi/loader.aspx?id=e10f1fd9-2e64-4773-a7d2-ef58fd7d00cd&utm_source=copilot.com. [Haettu 13 1 2026].
- [4] ASHRAE, ”www.ashrae.org,” ASHRAE, 3 2015. [Online]. Available: file:///C:/Users/tumpp/Downloads/toaz.info-ashrae-guideline-13-2015pdf-pr_1a5946a57b31c256a9842028a9157541.pdf. [Haettu 12 1 2026].
- [5] VDI Standards, ”vdi.de,” Verein Deutscher Ingenieure e.V., 4 2015. [Online]. Available: https://www.vdi.de/fileadmin/pages/vdi_de/redakteure/richtlinien/inhaltsverzeichnisse/2287231.pdf. [Haettu 15 1 2026].
- [6] VDI Standards, ”vdi.de,” Verein Deutscher Ingenieure e.V., 1 2020. [Online]. Available: https://www.vdi.de/fileadmin/pages/vdi_de/redakteure/richtlinien/inhaltsverzeichnisse/3062016.pdf. [Haettu 7 1 2026].
- [7] SFS Suomen standardit, ”store.sfs.fi,” SFS Suomen standardit, 2 2 2024. [Online]. Available: <https://store.sfs.fi/fi/sfs-en-iso-16484-1-2024>. [Haettu 12 2 2026].
- [8] buildingSMART, ”standards.buildingsmart.org,” buildingSMART, 3 2013. [Online]. Available: https://standards.buildingsmart.org/IFC/DEV/IFC4_2/FINAL/HTML/. [Haettu 20 2 2026].
- [9] SSPC 135 (BACnet Committee), ”ashrae.org,” ASHRAE, 31 12 2024. [Online]. Available: <https://www.ashrae.org/technical-resources/bookstore/bacnet>. [Haettu 12 2 2026].
- [10] O. Zheng, ”A critical review of cyber-physical security for building automation systems,” Texas, 2023.
- [11] I. E. C. (. / I. S. (työryhmät), ”IEC 62443 series — Industrial communication networks — Network and system security,” 2023.
- [12] I. O. f. S. (. & I. E. C. (IEC), ”ISO/IEC 27001 — Information security, cybersecurity and privacy protection — Information security management systems — Requirements,” ISO, 5 3 2024. [Online]. Available: <https://webstore.iec.ch/en/publication/94641>. [Haettu 10 3 2026].
- [13] International Electrotechnical Commission, ”IEC 61131-3,” International Electrotechnical Commission, 20 2 2013. [Online]. Available: <https://webstore.iec.ch/en/publication/4552?utm>. [Haettu 10 3 2026].
- [14] International Electrotechnical Commission, ”International Electrotechnical Commission,” International Electrotechnical Commission, 30 4 2010. [Online]. Available: https://webstore.iec.ch/en/publication/22273?utm_source=openai. [Haettu 10 3 2026].

- [15] International Electrotechnical Commission, "International Electrotechnical Commission," International Electrotechnical Commission, 22 3 2021. [Online]. Available: <https://webstore.iec.ch/en/publication/59927>. [Haettu 10 3 2026].
- [16] PSK Standardisointi, "psk-standardisointi.fi," PSK Standardisointi, 5 9 2017. [Online]. Available: <https://psk-standardisointi.fi/standards/?lang=en#ryhma57>. [Haettu 11 3 2026].
- [17] University of Toronto Facilities & Services, "https://www.fs.utoronto.ca/services/," University of Toronto Facilities & Services, 14 8 2025. [Online]. Available: <https://www.fs.utoronto.ca/wp-content/uploads/2025/11/Building-automation-system-design-standard-Rev-9.pdf>. [Haettu 10 2 2026].
- [18] The Chartered Institution of Building, "cibse.org," The Chartered Institution of Building, 2 2009. [Online]. Available: <https://www.benardmakaa.com/wp-content/uploads/2021/11/Butcher-Ken-J.-CIBSE-Guide-H-Building-Control-Systems-2009-CIBSE.pdf>. [Haettu 10 3 2026].
- [19] Sähkötieto Ry, "ST-käsikirja 17," Espoo, 2025.
- [20] Rakennustieto, "Rakennusurakan yleiset sopimusehdot YSE 1998," Helsinki, 1998.
- [21] I. O. f. Standardization, Organization and digitization of information about buildings and civil engineering works, including building information modelling (BIM) — Information management using building information modelling — Part 1: Concepts and principles, Geneva: International Organization for Standardization, 2018.
- [22] D. R. S. X. G. C. Z. J. H. F. G. H. Z. Shu Tang, "A framework for integrating BIM, building automation systems, and IoT: an application in design and operation using open standards," Lontoo, 2025.
- [23] I. O. f. Standardization, Industry Foundation Classes (IFC) for data sharing in the construction and facility management industries — Part 1: Data schema, Geneva: International Organization for Standardization, 2018.
- [24] ASHRAE, ANSI/ASHRAE Standard 135-2024: BACnet — A Data Communication Protocol for Building Automation and Control Networks, Peachtree Corners, GA: ASHRAE, 2024.
- [25] N. I. o. S. a. Technology, "Building Digitization and Semantic Interoperability," 2026.
- [26] A. S. 2. P. Committee, "ASHRAE Standard 223 User Documentation," 2026.
- [27] B. Balaji ja B. e. al., "Brick: Metadata schema for portable smart building applications," pp. 1273-1292, 2018.
- [28] P. Haystack, "Project Haystack Documentation," 2026.
- [29] C. Quinn ja J. J. McArthur, "Comparison of Brick and Project Haystack to Support Smart Building Applications," 2022.
- [30] H. Kallio, A.-m. Pietilä, M. Johnson ja M. Kangasniemi, "Systematic methodological review: Developing a framework for a qualitative semi-structured interview guide," *Journal of Advanced Nursing*, osa/vuosik. 2016, nro 12, pp. 2954-2965, 2016.
- [31] P. Eriksson ja A. Kovalainen, Qualitative Methods in Business Research, London: SAGE Publications, 2016.
- [32] V. Braun ja V. Clarke, "Using thematic analysis in psychology," nro 2, pp. 77-101, 2006.

Liite 1. Haastattelukysymysrunko

Rakennusautomaatioasiantuntijat haastattelukysymysrunko

Tausta ja toimintaympäristö

1. Voisitko lyhyesti kuvata ammatillista taustaasi ja rooliasi rakennusautomaatiohankkeissa?
2. Millaisissa rakennusautomaatiokohteissa olet pääasiassa työskennellyt (esim. prosessiteollisuus, tuotantolaitokset, energiantuotanto, logistiikka)?
3. Millaisissa projektivaiheissa olet tyypillisesti mukana (esisuunnittelu, toteutus-suunnittelu, käyttöönotto, elinkaarivaihe)?

Yleiset suunnittelu- ja dokumentointikäytännöt

4. Laaditaanko rakennusautomaatiosuunnitelmat tarpeelliselle tasolle toteutusta varten suunnittelijan toimesta?
5. Mikä on automaatiourakoitsijan rooli suhteessa suunnitteliin:
 - a. täsmentääkö urakoitsija ohjauslogiikkaa
 - b. laatiiko toteutus- ja ohjelmointitason dokumentit
 - c. osallistuuko suunnitteluun vielä rakentamisvaiheessa?
6. Onko Suomessa rakennusautomaation suunnittelussa käytössä kansallisia tai toimialakohtaisia ohjeita, määräyksiä tai standardeja, jotka määrittelevät dokumentaation laajuutta ja tarkkuutta?

Dokumentaation käyttötarkoitus ja sidosryhmät

7. Kuinka hyvin nykyinen automaatiosuunnittelun dokumentaatio palvelee eri osapuolia RAU-hankkeissa:
 - a. urakoitsijaa ja ohjelmoijaa
 - b. käyttöönottoa ja testauksia
 - c. käyttö- ja kunnossapitohenkilöstöä?
8. Tehdäänkö loppukäyttäjille erillisiä täsmennyksiä automaation käytöstä, toimintaperiaatteista, rajoituksista ja poikkeustilanteista?
9. Missä muodossa nämä käyttöä koskevat täsmennykset yleensä esitetään (esim. kaaviot, toimintakuvaukset, käyttöohjeet, digitaaliset näkymät)?

Esivalmistetut ja vakiotoimitukset teollisuudessa

10. Miten esivalmistettujen tai tehdastoimitteisten automaatiojärjestelmien (esim. alakeskukset, prosessimoduulit) ohjaus ja dokumentaatio tyypillisesti esitetään?
11. Onko dokumentaation tarkkuus mielestäsi riittävä ohjelmointiin, käyttöönottoon ja rakennuksien pitkäaikaiseen käyttöön?

Monimutkaiset ja hybridijärjestelmät rakennusautomaatiossa

12. Kun kohteissa käytetään hybridijärjestelmiä tai ei-standardiratkaisuja, miten niiden ohjausstrategiat yleensä dokumentoidaan verrattuna perusratkaisuihin?
13. Kuinka selkeästi järjestelmien prioriteetit, käyttötilat ja siirtymät esitetään nykyisissä dokumenteissa?
14. Mitkä ovat suurimmat haasteet tällaisten monimutkaisten järjestelmien dokumentoinnissa?
15. Kenellä on kokonaisvastuu ohjauslogiikan toiminnasta: suunnittelijalla, automaatiourakoitsijalla, prosessitoimittajalla vai usealla osapuolella yhdessä?

Esitystavat ja niiden kehitys

16. Millaisessa muodossa automaatiosuunnitelmat tyypillisesti esitetään hankkeissa (kaaviot, tekstit, lohkokaaviot, toiminnalliset kuvaukset)?
17. Onko esitystapa mielestäsi kehittynyt viime vuosina, ja mihin suuntaan?
18. Näetkö tarvetta yhtenäisemmälle tai standardoidummalle esitystavalle erityisesti rakennusautomaation osalta?

Digitalisaatio ja elinkaarinäkökulma

19. Hyödynnetäänkö rakennusautomaatiossa mallipohjaista tai BIM-pohjaista suunnittelua?
20. Ovatko automaatiosuunnitelmat koneellisesti luettavassa muodossa tai uudelleenkäytettävissä ohjelmoinnissa, käyttöönnotossa tai analytiikassa?
21. Miten dataa ja mittauksia eri alajärjestelmistä yhdistetään teollisuuskohteissa?
22. Miten älykkäät toiminnot, data-analytiikka ja kyberturvallisuus huomioidaan automaatiosuunnittelun dokumentaatiossa?

Tulevaisuus ja kehitysehdotukset

23. Mitkä asiat tulisi mielestäsi parantaa teollisen rakennusautomaation dokumentaatiossa perustavanlaatuisesti?
24. Mitä suosituksia antaisit suomalaiselle rakennusautomaation suunnittelukäytännölle ja ohjeistukselle?
25. Onko jotain olennaista, jota emme ole vielä käsitelleet?