



Aleksi Peltonen

Kevyiden rakenteiden taloteknisten läpivientien toteutus ja paikalleenmittaus tietomallipohjaisesti

Metropolia Ammattikorkeakoulu

Insinööri (AMK)

Rakennustekniikka

Insinööriyö 1.11.2023

Tiivistelmä

Tekijä:	Alexi Peltonen
Otsikko:	Kevyiden rakenteiden taloteknisten läpivientien toteutus ja paikalleenmittaus tietomallipohjaisesti
Sivumäärä:	70 sivua + 1 liite
Aika:	1.11.2023
Tutkinto:	Insinööri (AMK)
Tutkinto-ohjelma:	Rakennustekniikka
Ammatillinen pääaine:	Projektinhallinta
Ohjaajat:	VDC-päällikkö Riku Laiho Lehtori Tomi Karppinen

Tässä insinööriyössä tuotettiin selvitys vaihtoehtoisista työmenetelmistä taloteknisten läpivientien toteuttamiseen kevyissä rakenteissa, sekä tietomallipohjaisen rakennusmittauksen mahdollisia käyttökohteita osana läpivientien toteuttamisen prosessia. Insinööriyö tuotettiin NCC Suomi Oy:lle. Talotekniset läpiviennit ovat jokaisella rakennustyömailla välttämätön osa työn suoritusta, ja niiden toteuttamisessa ja paikalleenmittaamisessa on usein ongelmia, jotka aiheuttavat rakennushankkeelle aikataulu-, kustannus- ja laatuongelmia. Työn tilaaja halusi selvityksen vaihtoehtoisista työmenetelmistä, jotta voitaisiin vähentää taloteknisten läpivientien toteuttamisesta aiheutuvia ongelmia.

Insinööriyö toteutettiin tutkimalla NCC Suomi Oy:n rakennustyömailta kerättyä toteumatietoa, RT-kortistoa, yleisesti internetin vapaasti käytettäviä lähteitä, haastatteleamalla seitsemää rakennusalan ammattilaista sekä suorittamalla käytännön testi tietomallia hyödyntävällä takymetrillä. Käytännön testi suoritettiin NCC Suomi Oy:n rakennustyömaalla, ja siinä kokeiltiin muutaman läpivientireiän mittaamista paikalleen tietomallipohjaisesti.

Insinööriyön tuloksena onnistuttiin kartoittamaan kaksi vaihtoehtoista työmenetelmää sekä ehdotuksia läpivientireikien työjärjestykseen, urakkarajoihin ja määrien hallintaan kevyissä rakenteissa, sekä tietomallipohjaisen rakennusmittauksen vaatimuksia, kehitysehdotuksia ja työmenetelmiä. Vaihtoehtoisia työmenetelmiä ei testattu käytännössä, joten niiden käytännöllisyyttä voitiin tarkastella vain teorian tasolla. Tuloksia voidaan hyödyntää tietomallipohjaisen rakennusmittauksen kehityksessä ja testamalla käytännössä kartoitettuja vaihtoehtoisia työmenetelmiä ja ehdotuksia työjärjestykseen, urakkarajoihin ja määrien hallintaan.

Avainsanat: läpivienti, tietomalli, rakennusmittaus, talotekniikka

Tämän opinnäytetyön alkuperä on tarkastettu Turnitin Originality Check -ohjelmalla.

Abstract

Author: Aleksi Peltonen
Title: Implementation and Measurement of HVACE-passages in Light Structures by Utilizing Building Information Model
Number of Pages: 70 pages + 1 appendice
Date: 1 November 2023

Degree: Bachelor of Engineering
Degree Programme: Civil Engineering
Professional Major: Project Management
Supervisors: Riku Laiho, Manager of VDC (division)
Tomi Karppinen, Lecturer

This graduate study was commissioned by NCC Suomi Oy. The aim of this thesis was to investigate problems caused by the implementation of HVACE-passages in light structures and possible applications of BIM-based construction measurement as a part of the implementation process of HVACE-passages. Implementation of HVACE-passages is an essential part of construction, and there are often problems in the implementation and measurement of them, causing problems for the construction project in schedule, expenses and quality. The commissioner of this graduate study wanted a report on alternative methods of working in order to reduce these problems.

This graduate study was carried out by investigating the acquired data of implementation by NCC Suomi Oy, building information files, generally free-to-use sources of the internet, interviewing seven professionals of construction and performing a practical test by using a BIM-utilizing tacheometer. The practical test was performed on a construction site of NCC Suomi Oy by testing the measurement of a couple of HVACE-passages by utilizing the Building Information Model.

As a result of the thesis two alternative methods of working and suggestions on work order, contract limits and quantity management of the implementation of HVACE-passages and requirements, proposal for improvements and methods of BIM-based construction measurement were charted. The two alternate methods of working were only tested at a theoretical level. These results can be utilized in improving BIM-based construction measurement and practical testing of the alternative methods of working.

Keywords: passage, building information model, construction measurement, HVACE

Sisällys

Lyhenteet

1	Johdanto	8
2	Talotekniset läpiviennit kevyissä rakenteissa	10
2.1	Talotekniset läpiviennit yleisesti	10
2.2	Kevyet rakenteet	10
2.2.1	Väliseinärakenteet	10
2.2.2	Otsarakenteet	11
2.2.3	Alakattorakenteet	12
2.2.4	Asennuslattiarakenteet	13
2.3	Läpivientityypit kevyissä rakenteissa	14
2.3.1	Viemärien läpiviennit	14
2.3.2	Lämmitys- ja käyttövesiputkistot	16
2.3.3	Ilmanvaihto	18
2.3.4	Sähkö	19
2.3.5	Palokatkot	21
2.3.6	Märkätilojen läpiviennit	23
2.3.7	Asennuslattioiden läpiviennit	24
2.4	Taloteknisten läpivientien toteutus kevyissä rakenteissa	24
2.4.1	Toteutustavat	24
2.4.2	Ajanhallinta	26
2.4.3	Laadunhallinta	27
2.4.4	Kustannushallinta	28
2.4.5	Haasteet	30
3	Kevyiden rakenteiden taloteknisiin läpivienteihin liittyvät määräykset ja ohjeistukset	32
3.1	Suomen rakentamismääräyskokoelma	32
3.2	Paloneristys	32
3.3	Ääneneristys	33
3.4	Kosteudeneristys	33
4	Tietomallipohjainen rakennusmittaus	34
4.1	Yleisesti	34

4.2	Rakennuksen tietomallit	34
4.2.1	Yleisesti	34
4.2.2	IFC-tiedosto	36
4.2.3	Läpivientien tietomallintaminen	37
4.2.4	Tietomallipohjainen palokatkosuunnittelu	38
4.2.5	Hyödyt	39
4.2.6	Haasteet	40
4.3	Trimble Ri -mittalaitteen testi työmaaolosuhteissa	41
4.3.1	Trimble Ri	41
4.3.2	Testin tavoitteet	42
4.3.3	Testin toimintatavat	43
4.3.4	Materiaalin lataaminen ja mittalaitteen asemointi	44
4.3.5	Esivalmistettava materiaali	46
4.3.6	Työmaalla sovellettava materiaali	48
4.3.7	Testin tulokset	50
5	Haastattelut	55
5.1	Haastattelujen tavoitteet ja toimintatavat	55
5.2	Haastattelujen tulokset	55
6	Johtopäätökset	61
6.1	Läpivientireikien toteuttaminen	61
6.1.1	Siluettimenetelmä	61
6.1.2	Valmisosamenetelmä	62
6.1.3	Tietomallipohjaiset mittaleikkaukset	62
6.1.4	Työjärjestys	63
6.1.5	Läpivientireikien vastuu	64
6.1.6	Määrien hallinta	64
6.1.7	Kevyiden rakenteiden tietomallipohjainen reikä- ja varaussuunnittelu	64
6.2	Läpivientireikien paikalleen mittaaminen tietomallipohjaisesti	65
6.2.1	Edellytykset tietomallipohjaiselle rakennusmittaukselle	65
6.2.2	Toimintatavat	66
6.2.3	Tietomalli	67
7	Yhteenveto	69
	Lähteet	71

Liitteet

Liite 1: Päivittäisen merkinnän yhteenveto

Lyhenteet ja käsitteet

- ARK: *Arkkitehti*. Tietomalleissa käytetty lyhenne arkkitehdin mallista.
- BIM: *Building Information Model*. Tietomalli. Rakennuksen ja rakennusprosessin koko elinkaaren aikaisten tietojen kokonaisuus digitaalisessa, kolmiulotteisessa muodossa.
- CSV: *Comma-Separated-Value*. Tiedostomuoto, joka tekee yksinkertaisten taulukkomuotoisten tietojen tallentamisesta mahdollista tekstitiedostoon. Voidaan käyttää esimerkiksi koordinaattien tallentamiseen.
- IFC: *Industry Foundation Classes*. Yleisesti käytettävä tiedostomuoto, joka mahdollistaa yhtenäisen tiedonsiirron eri alojen ja ohjelmistojen välillä.
- LVI: *Lämpö, vesi ja ilma*. Suomalaisen kiinteistön kolme tärkeää elementtiä.
- RAK: *Rakennetekniikka*. Tietomalleissa käytetty lyhenne rakennesuunnittelijan mallista.
- RakMK: *Rakentamismääräyskokoelma*. Viranomaisen antama, rakentamista säätelevä normisto.
- Takymetri: Rakentamisessa käytettävä mittalaite, jolla mitataan säteittäisesti eli polaarisesti pisteiden sijainteja kojeeseen nähden.
- TATE: *Talotekniikka*. Yhteisnimitys kiinteistön ja siihen liittyvien tilojen teknisten palveluiden, järjestelmien ja laitteiden kokonaisuudelle.
- VDC: *Virtual Design and Construction*. NCC:n tapa toimia tietomallinnusta hyödyntävissä projekteissa.

1 Johdanto

Talotekniset läpiviennit ovat jokaisella rakennustyömaalla välttämätön osa työn suoritusta, ja niiden toteuttamisessa ja paikalleen mittaamisessa on usein ongelmia. Kun taloteknisiä läpivientejä tehdään väärin kohtiin tai väärän kokoisina, syntyy tarve korjata niitä, eli käytännössä tehdä sama työ uudelleen. Talotekniset läpiviennit toteutetaan usein hyvin epäkäytännöllisesti, kun läpiviennin sijaintia ei ole osoitettu tarkasti. Epäkäytännölliset läpivientien toteutuskeinot aiheuttavat rakennushankkeelle lisäkustannuksia, vaikeuksia töiden aikatauluttamisen kanssa sekä haasteita työn laadullisen lopputuloksen kanssa. Kehitystarpeena oli määrittää sellaiset työmenetelmät, joilla voidaan tehdä taloteknisten läpivientien toteutus kevyissä rakenteissa mahdollisimman tehokkaaksi, eli ”keralla kuntoon” -tavoitteella.

Tämän opinnäytetyön tilaaja on NCC Suomi Oy. NCC on Pohjoismaissa toimiva rakennusalan yritys, jonka toimialaan kuuluu kiinteistökehitys, rakennus- ja infrastruktuurihankkeet sekä asfaltin ja kiviainesten tuotanto. NCC on yksi suomen suurimmista rakennus- ja kiinteistökehitysyhtiöistä. Vuonna 2021 NCC:n liikevaihto Suomessa oli noin 600 miljoonaa euroa, ja he työllistivät noin 1100 henkilöä. Suomen yritykset NCC Suomi Oy, NCC Property Development Oy ja NCC Industry Oy ovat NCC AB:n tytäryhtiöitä. [30].

NCC:n tapa toimia tietomallinnusta hyödyntävissä projekteissa on Virtual Design and Construction, eli lyhennettynä VDC. VDC on toisenlainen tapa ajatella ja lähestyä hanketta, ja sen tarkoituksena on hallita tietoa, projektin organisoitumista sekä projektihenkilöiden tapaa työskennellä. Tietomallit toimivat VDC:n päätoimisena tietolähteenä. Tavoitteena on alakohtaiset rajat ylittävä yhteistyö, viestintä, suunnittelu ja päätöksenteko siten, että luodaan uusia näkökulmia rakennusosalalle. NCC panostaa VDC:hen jatkuvasti, ja suuri osa sitä on jatkuvaa etsintää uusille mahdollisuuksille ja menetelmille, mikä lopulta johti myös tämän opinnäytetyön toteutukseen. [31].

Tämän insinööriyön tavoitteena oli tuottaa selvitys mahdollisista vaihtoehtoisista menetelmistä taloteknisten läpivientien toteuttamiseen kevyissä rakenteissa. Opinnäytetyön tutkimussuunnitelmaa kehittäessä todettiin, että suuri osa ongelmaa on läpivientireikien paikalleen mittauksessa, joten päätettiin ottaa tietomallipohjaisen paikalleen mittauksen käytännön testi osaksi tätä insinööriä. Käytännön testin avulla voitiin tutkia tietomallipohjaisen rakennusmittauksen mahdollisia käyttötapauksia. Käytännön testiä varten saatiin Geotrim Oy:ltä lainaan muutaman päivän ajaksi Trimble Ri -takymetri, DT Research 301Y -tablettitietokone ja kolmijalka.

Tutkimuksessa tarkasteltiin työmaatoteutuksen aikataulusuunnittelua ja työmaakustannuksia NCC Suomi Oy:n, eli pääurakoitsijan näkökulmasta. Tutkimus rajattiin vain sisätyövaiheen kevyiden rakenteiden, kuten levy- ja harkkorakenteisten väliseinien ja otsien taloteknisten läpivientien toteutustekniikkaan. Tutkimustietona käytettiin NCC Suomi Oy:n rakennustyömailta kerättyä toteumatietoa, rakennusalan ammattilaisten haastatteluja, RT-kortistoa sekä yleisesti internetin vapaasti käytettäviä lähteitä.

2 Talotekniset läpiviennit kevyissä rakenteissa

2.1 Talotekniset läpiviennit yleisesti

Taloteknisellä läpiviennillä tarkoitetaan rakennetta läpäisevän talotekniikan osan, kuten ilmastointikanavan ja sen läpäisemän rakenteen tiivistä liitosta. Talotekniset läpiviennit on toteutettava rakenteissa siten, että ne tiivistetään palon, äänen, kosteuden, lämmön ja paineen eristävyuden osalta lävistettävää rakennetta vastaavaksi. Läpiviennin tiivistys voidaan toteuttaa esimerkiksi eristeellä, suojaputkella, läpivientikappaleella ja tiivistysaineella. Läpivientikappaleella tarkoitetaan tarviketta, joka läpäisee kyseessä olevan rakenteen vaatimukset tiivistyksen osalta, sekä tekee läpivietävän talotekniikan osan jälkeinpäin asentamisesta mahdollista. Läpivientejä toteuttaessa on varmistettava, että läpivienneissä käytettävät tarvikkeet ja aineet ovat kyseisille läpivienneille soveltuvia. [5, s. 5; 6, s. 1.]

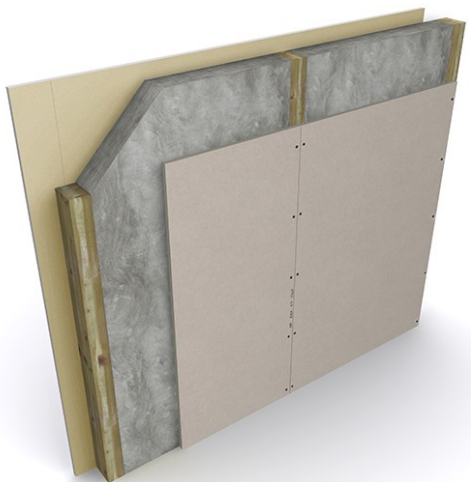
2.2 Kevyet rakenteet

Kevyellä rakenteella tarkoitetaan mitä tahansa rakennetta, mikä toteutetaan mahdollisimman kevyenä. Kevyet rakenteet eivät ota vastaan runkoon kohdistuvia kuormia, kuten käytöstä ja luonnonolosuhteista aiheutuvia kuormia. Taloteknisten läpivientien osalta kevyillä rakenteilla tarkoitetaan väliseinä-, otsa-, alakatto- ja asennuslattiarakenteita. [7, s. 1.]

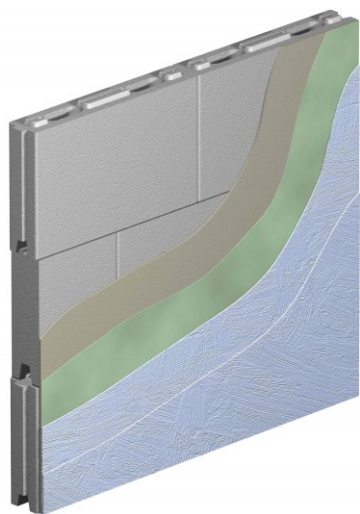
2.2.1 Väliseinärakenteet

Väliseinärakenteet ovat rakennuksen vaipan sisäpuolisia seiniä, jotka erottavat eri tiloja toisistaan. Yleisimmin toteutettu väliseinärakenne on kipsilevyrakenteinen väliseinä [kuva 1] ja harkkorakenteinen väliseinä [kuva 2]. Kipsilevyrakenteinen väliseinä koostuu rungosta, eristyksestä, kuorimateriaalista ja mahdollisesta pintaverhoilusta. Harkkorakenteinen väliseinä koostuu väliseinäharkoista ja kiinnitys- sekä muurauslaastista. Väliseinärakenteiden tavallisimpia taloteknisiä läpivientejä ovat erilliset kaapelit, kaapelihyllyt, ilmanvaihtokanavat,

käyttövesi- ja viemäriputket. Kipsilevyrakenteisen väliseinän yläpäähän 100 millimetrin etäisyydellä ei saa tehdä läpivientejä, jotka voisivat haitata kattorakenteen mahdollisen painuman aiheuttamaa yläkiskon pystysuuntaista liikettä. [35, s. 59.]



Kuva 1. Kipsilevyrakenteisen väliseinän leikkaus. [8].



Kuva 2. Harkkorakenteisen märkätilan väliseinän leikkaus. [12].

2.2.2 Otsarakenteet

Otsarakenteet ovat rakennusosiltaan samanlaisia kuin väliseinärakenteet, ero-
ten väliseinärakenteista siten, että ne alkavat tilan katon rajasta (väli- tai

yläpohja), ja ne eivät ylety tilan lattiarakenteeseen asti. Otsarakenteita rakennetaan useimmiten silloin, kun tilaan rakennetaan järjestelmäväliseiniä, kuten sisälasi- tai siirtoseiniä. Yleisimmin toteutettu otsarakenne on kipsilevyrakenteinen [kuva 3]. Otsarakenteiden tavallisimmat läpiviennit ovat samat, kuin väliseinärakenteissa.



Kuva 3. Kipsilevyrakenteinen otsa, johon on tehty ilmanvaihtoputkille läpiviennit. [9].

2.2.3 Alakattorakenteet

Alakattorakenteet ovat sisäkattorakenteita, jotka muodostavat tilaan suljetun kattopinnan. Alakattorakenteet ripustetaan väli- tai yläpohjan alapuolelle siten, että kiinnityspinnan ja alakaton väliin jää kohdekohtaisesti määritellyn kokoinen välitila, eli asennustila. Alakaton asennustila toimii pääosin talotekniikan, kuten ilmanvaihdon, sähköasennusten, putkiasennusten tai muiden taloteknisten verkostojen asennustilana. Yleisimmin toteutetut alakatot ovat levy- [kuva 4] ja t-listakattoja [kuva 5]. Alakattorakenteiden yleisimpiä läpivientejä ovat valaisimet, kaiuttimet, palo- ja murtohälyttimet sekä ilmanvaihtoventtiilit.



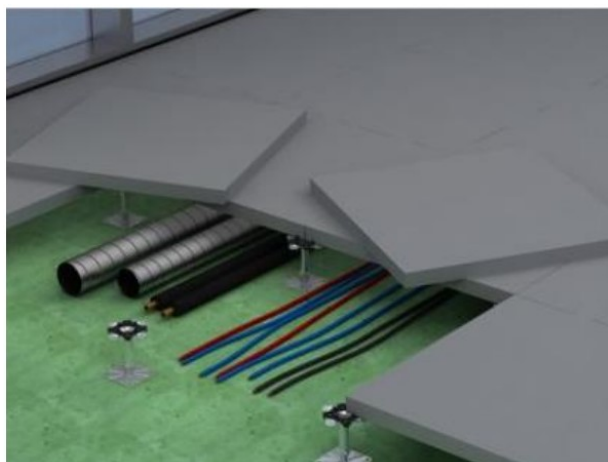
Kuva 4. Rakennusvaiheessa oleva alas laskettu levykatto, johon on tehty kaksi läpivienttiä. [10].



Kuva 5. T-listakatto, jossa on runko ja tekniikkalevyt asennettu. [11].

2.2.4 Asennuslattiarakenteet

Asennuslattiarakenteella [kuva 6] tarkoitetaan lattiarakennetta, jossa tilan pintarakenteet korotetaan säädettävillä tukijaloilla rakennuksen ala- tai välipohjan pinnasta siten, että suunnitellut talotekniikka-asennukset voidaan asentaa lattian ja kerroksen pohjan väliin. Yleisimmät käyttökohteet asennuslattioille ovat tekniset tilat ja toimistot. [18, s. 4–5.]



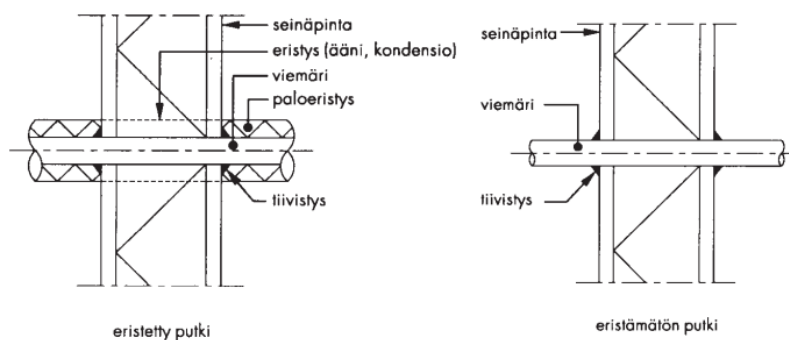
Kuva 6. Havainnekuva asennuslattiasta ja sen alle asennettavasta talotekniikasta [18, s. 5].

2.3 Lämpivientityypit kevyissä rakenteissa

Talotekniikan järjestelmien keskeisimpiä osia ovat putkistot. Putkistojen eristysvaatimukset vaihtelevat käyttötarkoituksen mukaisesti. Lämpivientien vaatimuksiin vaikuttaa läpäistävän rakenteen vaatimusten lisäksi rakenteen läpäisevä talotekniikan osa. Halkaisijat ja eristys- ja tiiveysvaatimukset vaihtelevat eri taloteknisten läpivietävien osien mukaisesti. Lämpivientien vaatimuksiin vaikuttavaa myös se, onko läpäistävä rakenne paloa osastoiva vai ei. [14, s. 4.]

2.3.1 Viemärien läpiviennit

Viemäriputkien läpivientejä käsitellään tässä insinööriyössä vain PVC-muovi- viemäreiden ja valurautaviemäreiden osalta. Jos viemäriputki on jotain muuta materiaalia, kuten teräs tai muut muovit, on läpivientitapa käsiteltävä erikseen tapauskohtaisesti. Viemäriputken läpivienti kevyessä levyrakenteisessa seinässä tai otsassa toteutetaan siten, että läpivientireiän koko on suunnitelmien mukainen. Lämpivientin vapaaksi jäänyt sauma tiivistetään joustavalla tiivistysmassalla [kuva 7]. Paloeristykseen voi katkaista läpäistävän rakenteen pintaan. Eristetyn viemäriputken äänen- ja kondensationeristys jatkuu yhtenäisenä rakenteen läpi. [6, s. 5.]



Kuva 7. Viemäriputken läpivienti kevyessä, ei osastoivassa levyrakenteessa. [6, s. 5].

Osastoimattoman harkkoseinärakenteiden viemäreiden läpiviennit toteutetaan samalla periaatteella kuin tiilirakenteisten seinien läpiviennit. Muurausvaiheessa jätetään aukko läpiviennin kohdalle, tai vaihtoehtoisesti porataan läpivietävälle viemäriputkelle sopivan kokoinen reikä. Viemäriputken asentamisen jälkeen putken ympärille jäävä aukko tehdään tiiviiksi. [6, s. 5.]

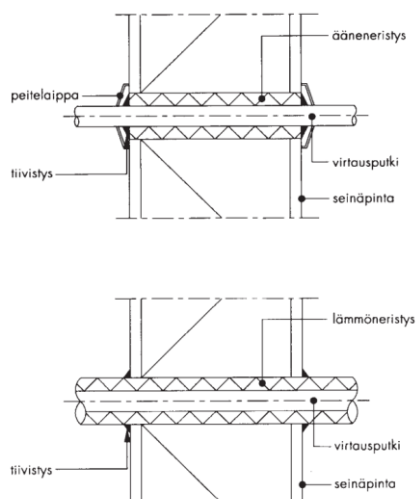
Jos harkkoseinärakenne on paloa osastoiva, läpivienti tulee tehdä Suomen Rakentamismääräyskokoelman asetusten sekä läpivietävälle viemäriputkelle myönnettyjen tyyppihyväksyntäpäätösten mukaisesti. Osastovien rakenteiden läpivientien on täytettävä lävistettävän rakenteen paloluokitusvaatimukset rakennuksen paloluokan mukaan määräytyville palonkestoajoille [taulukko 1]. [6, s. 5.]

Taulukko 1. Rakennusten paloluokitukset. [33].

P0	Rakennus suunnitellaan oleellisilta osin tai kokonaan käyttäen oletettuun palonkehitykseen perustuvaa menettelyä.
P1	Rakennus suunnitellaan siten, että sen kantavien rakenteiden oletetaan suurimmilta osin kestävä tulipalossa sortumatta. Rakennuksen henkilömäärälle ja koolle ei ole määritetty rajoituksia.
P2	Rakennus suunnitellaan siten, että sen kantavien rakenteiden palotekniset vaatimukset voivat olla P1-luokitusta matalampia. Turvallisuustaso saavutetaan siten, että asetetaan vaatimuksia erityisesti seinien, sisäkattojen ja lattioiden pintaosien ominaisuuksille. Kerroslukua, rakennuksen korkeutta ja henkilömääriä on rajoitettu käyttötavan mukaisesti.
P3	Rakennus suunnitellaan siten, ettei rakennuksen kantaville rakenteille aseteta erityisvaatimuksia palonkeston suhteen. Riittävä turvallisuustaso saavutetaan rakennuksen kokoa ja henkilömäärää rajoittamalla käyttötavan mukaan.

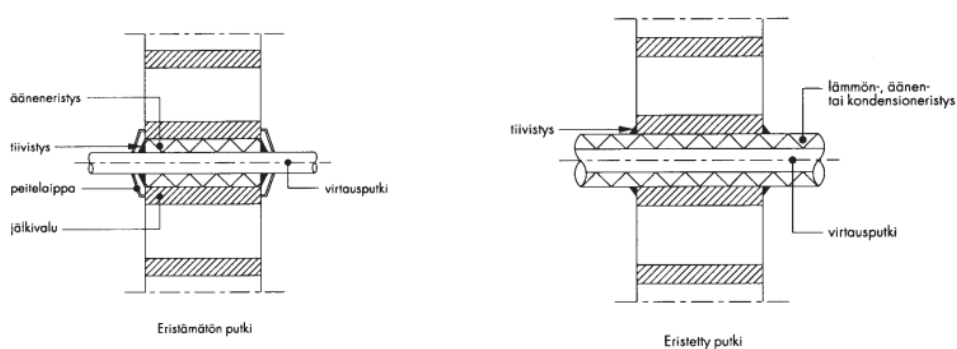
2.3.2 Lämmitys- ja käyttövesiputkistot

Kevyessä levyrakenteisessa väliseinässä tai otsassa virtausputken ja läpivienin välinen aukko tiivistetään vaatimukset täyttävällä eristeellä, kuten eristys- tai solukumikourulla [kuva 8]. Eristeen on pysyttävä paikallaan putken tai rakenteen liikuessa, joten eristeen tulee olla varaukseen nähden riittävän tiukka. Tarvittaessa lisätiivistys tehdään joustavalla tiivistysmassalla. [6, s. 1.]

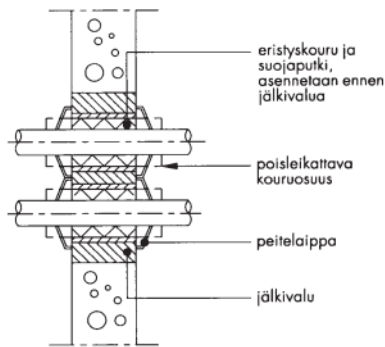


Kuva 8. Putken läpivienti kevyessä, ei osastoivassa levyseinärakenteessa [6, s. 1].

Osastoimattoman harkkoseinärakenteen lämmitys- ja käyttövesiputkistojen läpiviennit [kuva 9] toteutetaan samalla periaatteella kuin tiiliseinän läpiviennit, eli joko jättämällä muurausvaiheessa aukko läpiviennin kohdalle, tai poraamalla läpäisevälle lämmitys- tai käyttövesiputkelle suunnitelmien mukainen reikä muurauksen jälkeen. Kun läpäisevä talotekniikan osa ja eristyskouru on asennettu, valetaan eristyskourun ympärille jäävä aukko tiiviiksi. Muilta osin läpivienti toteutetaan kuten betonirakenteiseen seinään [kuva 10]. [6, s. 2.]



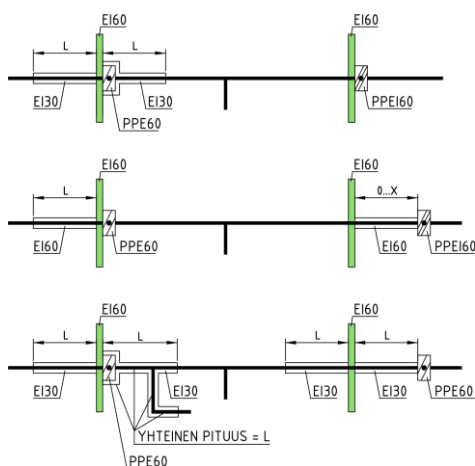
Kuva 9. Putken läpivienti ei osastoivassa tiiliseinässä [6, s. 2].



Kuva 10. Putken läpivienti betonirakenteisen seinän läpi jälkivalun avulla. [6, s. 2].

2.3.3 Ilmanvaihto

Yleisin ilmanvaihtoon liittyvä läpivienti on ilmanvaihtokanava. Ilmanvaihtokanavan läpivienti osastoivan rakenteen läpi paloteknisten vaatimusten mukaisesti toteutetaan joko ilmanvaihtokanavan paloeristyksellä tai palopellillä. Osastoivan rakenteen läpiviennissä käytettäviä tuotteita ovat esimerkiksi palopellit [kuva 11], paloeristeet pinnoitteineen, palokatkomassat sekä erilaiset kannakkeet ja kiinnikkeet. Paloa osastoimattomassa rakenteessa ilmanvaihtokanavan läpivienti toteutetaan samalla periaatteella kuin edellä mainituissa putkien läpiviennissä. [19.]

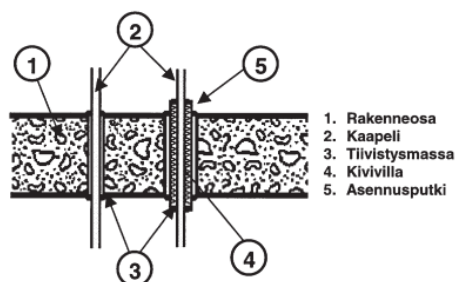


Kuva 11. Periaatteellisia esimerkkejä palopeltien (PPE) sijoittamiselle ja eristävyyden toteuttamiselle paloeristuksen avulla. Palopellit ja paloeristykset tulee asentaa valmistajan antamien asennusohjeiden mukaisesti. [19].

2.3.4 Sähkö

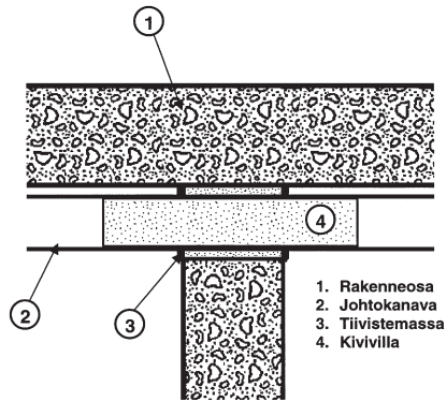
Sähköläpiviennillä tarkoitetaan reikää rakenteessa, jonka kautta viedään johtojärjestelmiä ja johtoteitä rakenteen läpi, tilasta toiseen. Sähköläpiviennit tulee äänieristää, ja äänieristykseen voi toteuttaa samoilla materiaaleilla, millä toteutetaan palokatko. Harkkoseinärakenteissa hyvinä äänieristeinä toimivat erilaiset vesipohjaiset massat. Levyseinärakenteissa äänieristeinä toimivat pinnoitetut kivivillalevyt tai alumiinisilikaattivillan ja tiivistemassan yhdistelmä. [18, s. 2.]

Jos kaapeli lävistää rakenteen [kuva 12], tulee läpivientireikä tiivistää joustavalla tiivistemassalla molemminpuolisesti. Jos rakenteen läpivientiputki on väljä, täyttyy kaapelin ja läpivientiputken välinen tila täyttää esimerkiksi kivivillalla ja päät tiivistemassalla. [18, s. 2.]

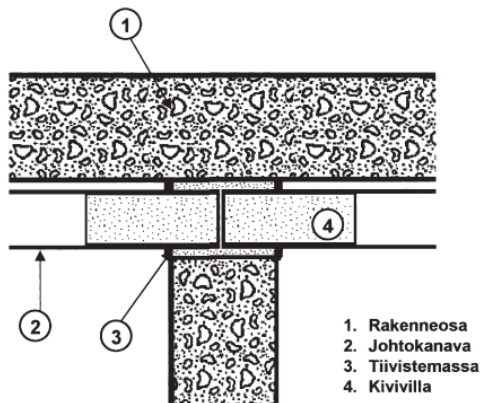


Kuva 12. Rakenteen lävistävä kaapeli. [18, s. 3].

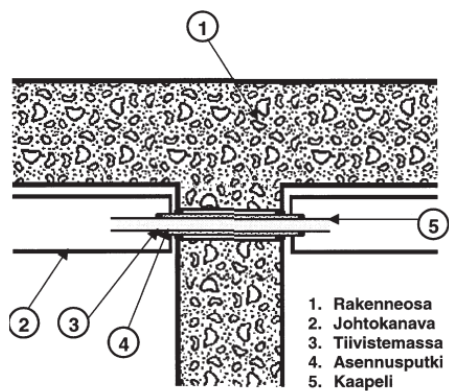
Jos johtokanava lävistää rakenteen [kuva 13], kanavan ja läpivientireiän välinen tila on tiivistettävä kivivillalla ja joustavalla tiivistemassalla. Kaapeleiden asennuksen jälkeen johtokanavan sisätila on tiivistettävä 50 senttimetrin pituudelta käyttäen kivivillaa tai ääntä absorboivaa solumuovia. Johtokanavan läpiviennin tiivistäminen toteutettuna näin eristää ilmaäänien, mutta ei runkoäänien. Runkoäänien eristäminen onnistuu katkaisemalla läpivientireiän läpi asennusputkissa [kuva 15]. [18, s. 3.]



Kuva 13. Rakenteen lävistävä johtokanava. [18, s. 3].



Kuva 14. Johtokanavan katkaisu läpivientireiän kohdalla. [18, s. 3].



Kuva 15. Johtokanavan päättäminen läpäistävään rakenteeseen. [18, s. 3].

2.3.5 Palokatkot

Palokatolla tarkoitetaan osastoivien rakenteiden läpivientiaukkojen tiivistämistä palo-osastointia vastaavaksi kokonaisuudeksi. Palokatko muodostuu yhdestä tai useammasta rakennustuotteesta tai -tuotejärjestelmästä, jotka asennetaan pysyvästi rakennuskohteeseen. Näiden rakennustuotteiden ja -tuotejärjestelmien paloteknisten ominaisuuksien tehtävä on rajoittaa palon ja savun leviämistä osastoivien rakenteiden läpivientien kautta [kuva 16]. Palosaumauksella tarkoitetaan käytännössä samaa asiaa, mutta se käsittää läpivientiaukkojen sijaan rakenteiden väliset saumat ja liitokset. Palokatkot toteutetaan erityissuunnittelijan laatiman palokatkosuunnitelman mukaisesti. Palokatkosuunnitelmaa täydentävät valmistajien palokatkotuotteita ja -ratkaisuja koskevat asiakirjat. [15, s. 5.]



Kuva 16. Palokaton toimintaperiaate. [15, s. 7].

Paloa osastoivien kevyiden rakenteiden läpivientien työmaatoteutukseen sisältyvät yleisesti seuraavat toimet [15, s. 13]:

- Palokatkojen asennuksen aloituspalaveri
- Palokatkoasennuksen laadunvarmistus
- Muutosten hallinta
- Palokatkojen asentaminen
- Luovutusasiakirjat tilaajalle

Palokatkosten asennuksen aloituspalaveri tulee pitää ennen palokatkosten asennustöiden aloittamista työmaalla. Työmaan vastaava työnjohto, eli pääurakoitsijan työnjohto on vastuussa aloituspalaverin pitämisestä. Aloituskokouksessa tulee olla läsnä vähintään pääurakoitsijan työvaiheesta vastaava työnjohtaja, palokatkourakoitsijan työnjohtaja ja vastuullinen palokatkoasentaja, LVIAS-urakoitsijat, eristysurakoitsijat sekä muut tilaajan vaatimat osapuolet, kuten palokatko-suunnittelija. Aloituspalaverista on laadittava muistio paperisena tai sähköisenä. Aloituspalaverissa käydään läpi [15, s. 13]:

- Palokatkoasuunnitelma ja sen sisältö
- Toimintaohjeet muille asentajille
- Muiden asennusten aikataulujen yhteensovitus palokatkoasennukseen
- Toimintaohjeet muutoshallinnalle ja ongelmatilanteiden varalta yhteystiedot
- Mallipalokatkon asentaminen
- Vaadittu dokumentointi palokatkosten asennustyöstä

Palokatkourakoitsijan täytyy tehdä toteutus- ja laadunvarmistussuunnitelma sekä valvoa työn laatua. Tämä tarkoittaa sitä, että heidän on tehtävä itselle luovutus ennen tilaajalle tapahtuvaa luovutusta, kerrottava tilaajalle huomatuista vakavista laatuvirheistä sekä niiden korjaamiseksi tehdyistä toimenpiteistä ja tarkistettava rakennusosat ja -tarvikkeet ennen asennusta. Kelpaamattomat rakennusosat ja -tarvikkeet tulee poistaa työmaalta välittömästi. Palokatkourakoitsijan on toimitettava valmisteltu laadunvarmistussuunnitelma tilaajalle ennen töiden aloitusta. Kun palokatkosten asennustyöt ovat valmiit, palokatkourakoitsija luovuttaa tilaajalle valmiin toteutus- ja laadunvarmistussuunnitelman. [15, s. 13.]

Muutosten hallintaa varten sovitaan aloituspalaverissa toimenpiteet ja menettelytavat. Jos rakennusvaiheen aikana esiintyy tarvetta muutoksille, esimerkiksi

tilaajan tai palokatkourakoitsijan toiveesta, nämä muutokset pitää hyväksyttää ennen työn aloittamista palokatkosuunnittelijalla. Palokatkosuunnittelija laatii muutossuunnitelman, jonka on oltava yhteensovitettu muiden suunnitelmien kanssa. Suurempien suunnitelmamuutosten, kuten tuotteiden vaihdon ilmeessä, palokatkosuunnittelija esittelee ne rakennusvalvontaviranomaiselle ennen muutostöiden aloitusta. Palokatkourakoitsijan on laadittava ja toimitettava punakynäpiirustukset palokatkosuunnittelijalle, joka päivittää niiden sisällön suunnitelmiin. [15, s. 14.]

Palokatkosuunnitelman täytyy olla työmaalla ennen palokatkotöiden aloittamista. Palokatkojen asennustyöt suoritetaan rakennusvalvontaviranomaisen asiata tarkastaman, leimalla varustetun palokatkosuunnitelman ja valmistajan asennusohjeiden mukaisesti. Työn tilaaja voi edellyttää palokatkoasentajilta pätevyyden osoittamista. Pätevyys voidaan osoittaa työnäytteillä tai palokatkoasentajien pätevyystodistuksilla. [15, s. 14.]

Palokatkojen asennustöiden valmistuttua pidetään loppukatselmus. Loppukatselmuksessa todetaan palokatkojen suunnitelmien mukainen toteutus. Jos työmaalla tehdään suunnitelmista poikkeavalla tavalla palokatkoasennuksia, niistä tulee olla suunnittelijan etukäteishyväksyntä. Suunnitelmat luovutetaan tilaajalle ja rakennusvalvontaviranomaiselle, kun on varmistettu, että palokatkosuunnitelmat ovat suunnittelijoiden toimesta päivitetty palokatkourakoitsijan punakynäpiirustuksien perusteella. Tiedot käytetyistä tuotteista sekä niiden huoltotarpeista rakennuksen käyttö- ja huolto-ohjeeseen liitettäväksi toimittaa palokatkourakoitsija. [15, s. 15.]

2.3.6 Märkätilojen läpiviennit

Märkätilojen seinien läpivientejä vältetään toteuttamasta vedeneristyksen kannalta kriittisissä kohdissa. Vedeneristyksen kannalta kriittisiä kohtia ovat ne kohdat, jotka ovat alttiita roiskevedelle, eli 1,5 metrin etäisyydellä vesipisteestä. Vuotavat läpiviennit ovat yksi tyypillisimmistä kosteusvauroiden aiheuttajista märkätiloissa. Suojaputkessa on oltava vähintään 100 millimetriä leveä laippa

läpiviennin suoja-putken lävistäessä vedeneristeen. Tapauksissa, jossa yksi läpivienti palvelee useampaa rinnakkaista suoja-putkea, suoja-putket voidaan varustaa yhteisellä laipalla, jonka reunan etäisyys tulee olla vähintään 100 millimetriä suoja-putken seinämistä. Eristetyn suoja-putken tulee olla tarpeeksi suuri, jotta putki eristyksineen ja mahdollisineen diffuusiotiiviineen suoja-pinnoitteineen pääsee vapaasti laajenemaan suoja-putken sisällä. [17, s. 8.]

Vesijohdon läpivienti märkätilan seinässä tulee tehdä mahdollisimman lähelle seinän yläpintaa. Läpivienti on tiivistettävä vedenpitävällä, joustavalla ja home-suojatulla saumasaineella, ja suojattava läpivientilaipalla. Läpivienti tiivistetään seinän pinnasta kokonaan ja seinän sisällä putken ympäriltä. Märkätilojen alakattojen läpiviennit toteutetaan samalla tavalla kuten kuivan tilan läpiviennit. [16, s. 2.]

2.3.7 Asennuslattioiden läpiviennit

Asennuslattiarakenteiden läpiviennit, kuten lattiapistorasioiden paikat, toteutetaan käytännöllisimmin ennen asennuslattian pintalaattojen asentamista niiltä kohdilta, mihin läpivientejä tulee. Jos jostain syystä läpivienti joudutaan toteuttamaan valmiin pinnan päältä, tulee toteuttamista varten järjestää kohdepoisto pölyttämisen ehkäisemiseksi. [18, s. 18.]

2.4 Taloteknisten läpivientien toteutus kevyissä rakenteissa

2.4.1 Toteutustavat

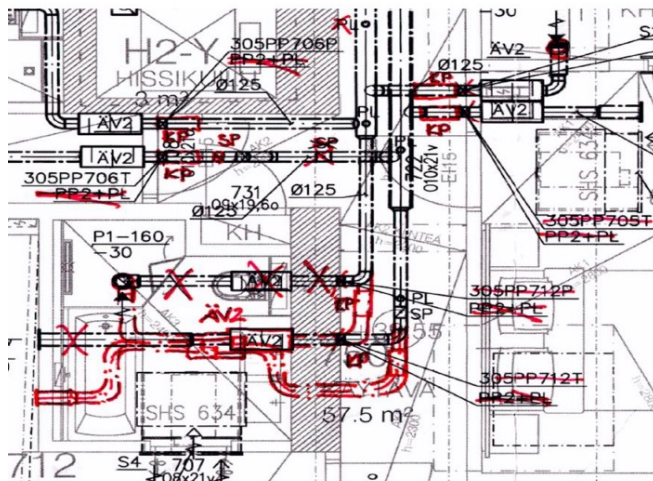
Rakenteiden läpiviennit on toteutettava niin, ettei läpivientikohta estä läpivientien putkien vapaata liikettä. Läpivientivä putki ei saa läpivientireiän kohdalla olla suorassa kosketuksessa kiinteään materiaaliin, vaan on käytettävä elastisia eriste- ja kittausmateriaaleja. Läpivientivän putken lämpöliikkeen tulee olla mahdollinen siten, ettei eriste, putki tai rakenne ole vaarassa rikkoutua. Äänen siirtymisen estämiseksi ilmatiiviys on tärkeää. [17, s. 9.]

Yleisesti suurin osa rakennushankkeen kevyiden rakenteiden läpivienneistä sijoittuu kyseessä olevan tilan katon tai alakaton rajaan. Tämä vaikuttaa hyvin olennaisesti työergonomiaan. Työergonomian kannalta kaikista parhain vaihtoehto olisi tehdä kaikki mahdolliset läpivientireiät alakattolevyihin lattian tasalla työtason päällä. Levyrakenteisiin otsiin ja väliseiniin läpivientireikien toteutus ennen paikalleen asentamista on hankalampaa, koska reikien paikkojen hahmotus vaikeutuu sekä suunnitelmat voivat muuttua tai olla myöhässä. Levyrakenteisten otsien ja väliseiniin läpivientireiät toteutetaan henkilönostimen, työtelineiden tai A-tikkaiden avulla.

Harkkorakenteiden läpiviennit toteutetaan timanttiorauksella tai isoissa läpivientirei'issä valmiilla sapluunoilla. Timanttioraus on mahdollista toteuttaa joko märkä- tai kuivaporauksena. Kuivaporausta ei suositella siitä syntyvän vaarallisen betonipölyn takia. Poratessa harkkorakenteita syntyy paljon lämpöenergiaa, jonka takia suurin osa porauksista suoritetaan märkäporauksena. Märkäporausta käyttäessä porauksesta syntyvä betonipöly sitoutuu lähes kokonaan veteen. Timanttiorauksessa käytettävät työkoneet ovat painavia ja pyörivät suurella nopeudella, sekä timanttiorauksen työkohteet ovat usein haastavissa paikoissa. Timanttiorauksen työergonomiaa parantaakseen on työntekijän huolehdittava oikeanlaisista työasunnoista, ja käytettävä tarvittaessa työtasoja ja -pukkeja, jatkovarsia sekä muita työtä helpottavia apuvälineitä. [20, s. 6–11; 41.]

Läpivientireikien työnjaolle ei ole yhtä oikeaa toimintatapaa. Yleisin toimintatapa kuitenkin on sellainen, että TATE-urakoitsijat itse merkitsevät omat läpivientinsä paikalleen, ja väliseinä- tai timanttiurakoitsija tekee läpivientireiät. TATE-urakoitsijat merkitsevät läpivientiensä keskikohdat läpäistäviin rakenteisiin pohjakuvan perusteella siten, että keskikohdan viereen on merkitty minkä urakoitsijan läpivienti on kyseessä, läpivientireiän halkaisija ja merkinnän päivämäärä. Päivämäärä on tärkeää merkitä, jotta tiedetään minkä suunnitelmaversion mukaan merkintä on tehty. Kun keskikohdat ovat merkitty, väliseinäurakoitsija käy harpilla piirtämässä läpivientireiän levyväliseiniin merkinnän mukaiseksi, ja leikkaa sen, tai timanttioraaja käy poraamassa sen harkkoseinään.

Rakennushankkeissa on hyvin yleistä, että talotekniikan reittejä ei voida asentaa täysin LVIS-suunnitelmien mukaisesti. Tämä johtuu suurimmaksi osaksi suunnitelmien yhteensovittamisen puutteesta. Jos työmaalla joudutaan toteuttamaan jokin talotekninen asennus suunnitelmista poikkeavalla tavalla, tulee siitä laatia punakynäpiirustus joko paperisena tai sähköisenä, joka toimitetaan LVIS-suunnittelijoille. Vastuu punakynäsarjojen laatimisesta on usein TATE-urakoitsijalla. Punakynäpiirustuksiin merkitään työmaalla tehtyjen asennusten erot suunnitelmiin, kuten ilmanvaihtokanavien äänenvaimentimien tai viemärireitin muutos [kuva 17]. LVI-suunnittelijat päivittävät loppukuvat näiden punakynäpiirustusten pohjalta ajan tasalle. [21, s. 3.]



Kuva 17. Punakynäpiirustus ilmanvaihtosuunnitelmasta. [21, s. 3].

2.4.2 Ajanhallinta

Jotta läpivientireiät voidaan toteuttaa oikeissa paikoissa oikeisiin aikoihin, ne täytyy olla mainittuna ja pohdittuna osana jotakin muuta tehtäväsuunnitelmaa, kuten väliseinäurakan tehtäväsuunnitelmaa, tai mahdollisesti niille voi tehdä täysin oman tehtäväsuunnitelman. Tehtäväsuunnitelma sisältää tehtävän toteutuksen suunnittelun, ohjauksen sekä valvonnan. Tehtävän ajallisen suunnittelun osat ovat työryhmän koon ja suoritettavan määrän laajuuden selvittäminen, ajoituksen tarkistaminen, välitavoitteista sopiminen sekä työn etenemisten valvonta ja ohjaus. [13, s. 18.]

Työn ajallisen keston mitoittamiseen tarvitaan suoritettavat määrät ja työryhmän koko. Määrien selvittäminen hoidetaan yleensä laskemalla suunnitelmien piirustuksista, mutta se on mahdollista tehdä myös tietomallia hyödyntämällä. Tietomallia hyödyntämällä on mahdollista laskea hyvinkin nopeasti ja automatisoidusti joidenkin rakennusosien määrät, kuten sisäovien kappalemäärä tai anturoiden betonikuutioiden kokonaismäärä, mutta taloteknisissä läpivientirei'issä se ei ole kovin yleistä. Talotekniset läpivientireiät mallinnetaan usein kantavien rakenteiden osalta omina objekteinaan, mutta ei kevyiden rakenteiden osalta.

2.4.3 Laadunhallinta

Jotta voidaan toteuttaa talotekniset läpiviennit rakennushankkeen suunniteltujen laatuvaatimusten mukaisesti, on ensimmäiseksi selvitettävä vaaditut laatuvaatimukset. Taloteknisten läpivientien laatuvaatimukset määritellään hankekohtaisissa LVIAS-suunnitelmissa. Laadunvarmistuksen työvaihekohtaiset toimenpiteet on määritelty hankekohtaisessa tarkastusasiakirjassa. Yleisesti rakentamisen laadunvarmistuksessa noudatetaan näitä toimenpiteitä [13, s. 17]:

- Työvaihesuunnitelma
- Työvaiheen aloituspalaveri
- Mestan vastaanotto
- Mallikatselmus
- Työvaiheen tarkastukset
- Testit, kokeet ja mittaukset
- Itselleluovutukset.

Rakentamisen laadunvarmistuksen kaikkia toimenpiteitä ei ole välttämätöntä suorittaa jokaisen työvaiheen osalta. Esimerkiksi ei ole tarvetta järjestää

listoitustöille testejä, kokeita ja mittauksia. Jokaisen työvaiheen tarpeelliset laadunvarmistuksen toimenpiteet ovat määritelty tarkastusasiakirjassa.

Ei osastoivien kevyiden rakenteiden läpivienneistä ei yleensä tehdä omaa työvaihesuunnitelmaa, tai pidetä erikseen aloituspalaveria, koska yleisesti läpivientien tekeminen kuuluu väliseinäurakkaan, ja niiden merkitseminen TATE-urakoihin. Läpivientien malliasennukset katselmoidaan usein muiden mallikatselmusten yhteydessä, mutta parhaimman laadullisen suorituksen kannalta niille olisi hyvä järjestää oma mallikatselmuksensa, mahdollisuuksien mukaisesti.

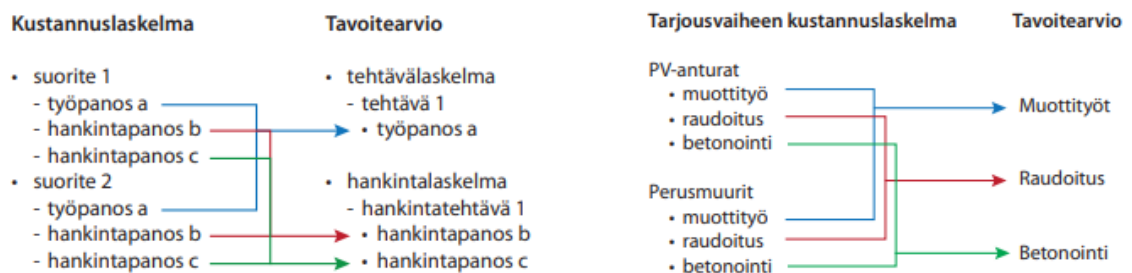
2.4.4 Kustannushallinta

Rakennushankkeen kustannustavoitteet muodostetaan rakennushankkeen kustannusarviosta, hankintasuunnitelmasta, aikatauluista sekä muista sopimusasiakirjoista. Kustannushallinnan olennaisin tavoite on saada rakennushanke toteutumaan tavoitearvion mukaisesti. Rakentamisen tuotantovaiheen kustannushallinnassa noudatetaan yleisesti seuraavia toimenpiteitä [23, s. 80]:

- Tavoitearvion muodostaminen
- Tehtäväsuunnittelu
- Toteutuksen kustannusvalvonta
- Lisä- ja muutostyöt
- Taloudellinen loppuserivitys
- Jälkilaskenta.

Tavoitearvio muodostetaan kustannusarvion pohjalta. Tavoitearvion käyttötarkoitus on ohjata rakennushankkeen toteutus kustannustavoitteisiin. Jokaiselle hankintakokonaisuudelle ja tehtävälle jaetaan kustannusarvion euromäärästä osa, muodostaen jokaiselle hankintakokonaisuudelle ja tehtävälle

kustannustavoitteen. Osittelua lopulta tarkennetaan osalohkoiksi, tehtäviksi ja tehtävänimikkeiksi, eli seurantalitteroiksi [kuva 18]. Seurantalitteroilla seurataan tehtävien kustannustavoitteiden toteutumista. Tavoitearvio on hyvin tärkeä osa kustannushallintaa, koska sen avulla saadaan luotua konkreettiset kustannustavoitteet tehtävien toteuttamiselle. Tavoitearvio on tärkeää laatia sellaiseksi, että sitä pystyy mahdollisimman helposti valvomaan ja ennustamaan. Jotta tavoitearvio saadaan muodostettua mahdollisimman realistisena, on tehtävän määrien, eli hankittavan työn ja materiaalien laajuuden oltava mahdollisimman tarkkaa. Taloteknisten läpivientien osalta tämä toimenpide käytännössä tarkoittaa sitä, että selvitetään suunnitelmista ja/tai mahdollisuuksien mukaan tietomallista läpivientireikien määrät jaoteltuna koon ja läpäistävän rakenteen mukaisesti, ja lasketaan tavoitearvio. Hyvä, suuntaa antava keino on tarkastella mahdollisuuksien mukaan aikaisempien hankkeiden vastaavien tehtävien hinnoittelua. [23, s. 81.]



Kuva 18. Teoreettinen ja käytännön esimerkki kustannusarvion muodostamisesta tavoitearvioksi. [23, s. 81].

Tehtäväsuunnitelma tehdään sellaiseksi, että työmaan työnjohto saa käytännön työkalut tehtävän johtamiseen ja ohjaukseen. Taloteknisistä läpivienneistä vastaava työnjohtaja kartoittaa tarvittavat resurssit ja aikataulun osana urakkaa, johon ne kuuluvat. Tehtäväsuunnitelman tekeminen on kustannusten ennakkovalvontaa, koska sitä laatiessa suunnitellaan hankintoja ja tehtäviä siten, että ne voidaan saavuttaa niille asetettujen tavoitteiden mukaisesti. Tehtäväsuunnittelun on tärkeää vastata seuraaviin kysymyksiin [23, s. 82]:

- Mitä ja keitä tehtäväsuunnitelma palvelee?

- Suunniteltavan tehtävän erityishuomiot?
- Mitä riskejä tehtävä sisältää?

Tehtäväsuunnitelmassa lasketaan tehtävän työkustannukset, ja verrataan sitä summaa tavoitearviossa varattuun summaan. Jos esiintyy poikkeamia tavoitearviossa ja tehtävän työkustannuksissa, selvitetään niiden syyt. Tehtävän kustannuksia on hyvin tärkeää valvoa. Valvonta onnistuu sujuvasti esimerkiksi taulukoimalla saadut laskut ja toimitetut määrät. Taloteknisille läpivienneille ei ole välttämätöntä tehdä omaa kustannuslaskelmaa, vaan se voi olla osa jonkin urakan kokonaisuutta. Toisaalta oma kustannuslaskelma taloteknisille läpivienneille ei olisi huono ajatus. [23, s. 84.]

Rakennushankkeen tuotantovaiheen aikana toteutettavat suunnitelmat voivat muuttua, joka johtaa lisä- tai muutostöihin. Lisätöillä tarkoitetaan sellaisia urakoitsijan suorituksia, jotka eivät alkuperäisen urakkasopimuksen mukaan kuulu hänen suoritusvelvollisuuksiinsa siten, että ne muuttavat alkuperäisesti sovittua rakennushanketta niin laajasti, ettei ole enää kyse muutostöistä. Muutostöillä tarkoitetaan samaa kuin lisätöissä, mutta eroten siten, että muutoksen laajuus on huomattavasti pienempi. Taloteknisten läpivientien osalta tämä voi tarkoittaa esimerkiksi sitä, että läpivientireikiä täytyykin tehdä suunniteltua enemmän. Lisä- ja muutostyöt tulee eritellä kustannuslaskelmissa erillisenä kokonaisuutena. [23, s. 89–91.]

2.4.5 Haasteet

Taloteknisten läpivientien suurimpina toteutukseen liittyvänä haasteina ovat suunnitelmien puutteet, läpivientireikien korjaaminen ja työergonomia. Suunnitelmien puutteet voivat johtua yhteensovittamisen puutteista eri suunnittelualojen välillä, suunnittelijoiden resurssien riittämättömyydestä ja hankkeen haasteellisuudesta, ja ne voivat aiheuttaa taloteknisissä reiteissä törmäilyjä. Jos yksikin talotekninen reitti asennetaan suunnitelmista poikkeavalla tavalla, se voi vaikuttaa muiden rakenteiden ja taloteknisten reittien sekä laitteiden asennukseen.

Tapaukset, joissa läpivientireikiä toteutetaan väärin sijainteihin tai väärän kokoisina, aiheuttaa rakennushankkeelle ylimääräisiä kustannuksia, aikataulupaineita ja laadunhallinnan ongelmia, koska kun läpivientireikää ei toteuteta oikeanlaisesti, sitä joudutaan paikkaamaan, muokkaamaan tai tekemään kokonaan uudelleen. Lisäksi ylimääräisiä resursseja kuluu selvittämistyöhön. Työergonomian kannalta suurin haaste taloteknisten läpivientien osalta on työasento, koska suurin osa talotekniikasta kulkee katon rajaa pitkin, joka voi johtaa sellaiseen työasentoon, jossa kädet ovat ojennettuna pään yläpuolella.

3 Kevyiden rakenteiden taloteknisiin läpivienteihin liittyvät määräykset ja ohjeistukset

3.1 Suomen rakentamismääräyskokoelma

Rakentamisen yleiset edellytykset, olennaiset tekniset vaatimukset sekä rakentamisen lupamenettely ja viranomaisvalvonta määritellään maankäyttö- ja rakennuslaissa. Olennaiset tekniset vaatimukset koskevat rakenteiden lujuutta ja vakautta, paloturvallisuutta, terveellisyyttä, käyttöturvallisuutta, esteettömyyttä, meluntorjuntaa ja ääniolosuhteita sekä energiatehokkuutta. Suomen rakentamismääräyskokoelmassa on määritelty tarkemmat rakentamista koskevat säännökset ja ohjeet. Kevyiden rakenteiden taloteknisten läpivientien osalta tärkeimmät säännökset ja ohjeet koskevat palon-, äänen- ja kosteudeneristystä. [36.]

3.2 Paloneristys

Läpivientien palokatkojen hyväksyntämenettely vaatii tyyppihyväksynnän käytyille palokatkotuotteille. Tyyppihyväksyntä kertoo, että tuote täyttää Suomen rakentamismääräysten vaatimukset. Tämän insinööriyön kirjoittamisen aikana ei ollut voimassa olevaa läpivientien palokatkoja koskevaa CE-merkintää tai tyyppihyväksyntäasetusta. [3, s. 18–21.]

Jokaiselle rakennushankkeelle laaditaan oma palokatkosuunnitelma. Palokatkosuunnitelma pitää sisällään lyhyen kuvauksen rakennettavasta kohteesta, palokatkojen toteutustavan määrittämisen, palokatkojen tuotetoimittajan ja tiivistämiin käytetyt palokatkotuotteet, käytetyn palo-osastointitavan ja luokkavaatimuksen sekä erityismaininnat. Palokatkot merkitään pohjapiirustuksiin työn edessä. Työhön valittavan urakoitsijan ammattitaito, hankintajako ja laadunvarmistussuunnitelma on selvitettävä tilaajan toimesta. [3, s. 18–21.]

3.3 Ääneneristys

Ympäristöministeriön asetus 796/2017 rakennuksen ääniympäristöstä koskee rakennusten ääneneristystä, melun- ja värinätorjuntaa ja ääniolosuhteita sekä rakennusten piha- ja oleskelualueiden ja oleskeluun käytettävien parvekkeiden meluntorjuntaa ja ääniolosuhteita. Tässä asetuksessa on määritelty olennaiset vaatimukset ääneneristykselle ja meluntorjunnalle. Olennaisen vaatimuksen täytyy toteutua yleisellä kunnossapidolla rakennushankkeen koko taloudellisen käyttöiän ajan. Ääneneristys- ja meluntorjuntavaatimuksen katsotaan toteutuvan tarpeeksi hyvin, mikäli rakennus suunnitellaan ja rakennetaan Ympäristöministeriön asetuksessa määriteltyjen määräysten ja ohjeiden mukaisesti, tai vaatimusten toteutuminen todennetaan tapauskohtaisesti muulla luotettavaksi osoitetulla tavalla ottaen huomioon rakennuksen ominaisuudet ja käytön. [22, s. 3–4.]

3.4 Kosteudeneristys

Ympäristöministeriön asetus 782/2017 rakennusten kosteusteknisestä toimivuudesta koskee rakennuksen kosteusteknisen toimivuuden suunnittelua ja rakentamista. Tässä osassa on määritelty olennaiset vaatimukset kosteudeneristykselle. Kosteudeneristyksen olennaisten vaatimusten katsotaan toteutuvan, mikäli rakennus suunnitellaan ja rakennetaan Ympäristöministeriön asetuksessa määriteltyjen määräysten ja ohjeiden mukaisesti. Tapauksissa, joissa rakennushankkeessa on kosteusteknisesti erityisesti vaativia tiloja, voidaan joutua osoittaa vaatimusten toteutuminen erikseen. Asetuksen mukaan ilmansulun ja ilman-sulkuna toimivan höyrynsulun saumat, reunat sekä läpivientikohdat täytyy tiivistää erityistä huolellisuutta noudattaen. [34.]

4 Tietomallipohjainen rakennusmittaus

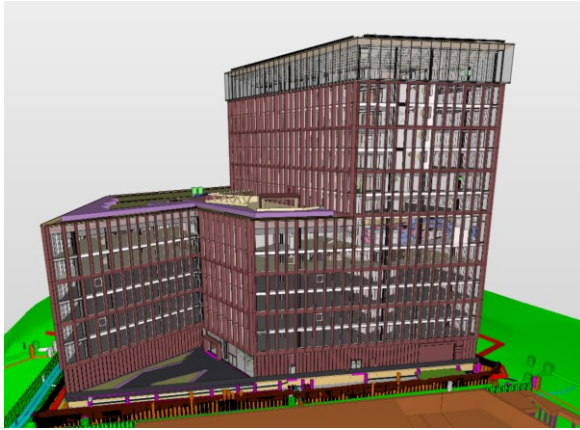
4.1 Yleisesti

Tietomallipohjaisella rakennusmittauksella tarkoitetaan rakennusmittausta, jossa mittaus suoritetaan käyttämällä 3D-geometriatietoja sisältäviä rakennusten tietomalleja. Mittauksen suorittaminen tietomallipohjaisesti voi säästää mitaajan tiedon käsittelyyn käyttämää aikaa, kun jokaisesta suunnittelualasta ei tarvitse etsiä erikseen suunnitelmia, vaan kaikki tarvittavat suunnitelmat ovat tietomalleissa. Tietomallipohjainen rakennusmittaus mahdollistaa toteumatietojen, eli mittauksien siirtämisen mittalaitteesta toteumamalliin. Toteumamallilla tarkoitetaan rakennustyön aikana päivitettävää tietomallia, joka sisältää rakennuksen lopullisen, toteutuneen tuotetiedon. [1; 26.]

4.2 Rakennuksen tietomallit

4.2.1 Yleisesti

Rakennuksen tietomallilla tarkoitetaan digitaalista versiota rakennuksesta [kuva 19]. Tietomallissa rakennus on mallinnettu kolmiulotteisesti, ja se sisältää lisätietoa rakennusosien ominaisuuksista, rakennuksesta ja sen prosesseista. Tietomallia voidaan käyttää esimerkiksi erilaisiin kustannuslaskelmiin, aikataulusuunnitteluun ja työsuunnitteluun. Tietomalli käytännössä kerää monen eri suunnittelualan tiedot yhteen pakettiin, mikä tekee sen käytöstä hyvinkin tehokasta, koska ei tarvitse erikseen hakea tietoa eri suunnitelmista. Tietomallista on myös mahdollista tuottaa erilaisia tulosteita, joten kun tietomallin yksi tieto päivitetään, se vaikuttaa moneen piirustukseen ja laskelmaan. Perinteisellä tavalla tieto pitäisi päivittää jokaiseen suunnitelmaan erikseen. [26.]



Kuva 19. NCC:n We Land -hankkeen toteutussuunnittelun yhdistelmämalli. Kuvakaappaus Solibri Anywhere -sovelluksesta.

Rakennuksen tietomalli syntyy vaiheittain, tarkentuen loppua kohti. Tietomallin luominen aloitetaan karkeasta tietosisällöstä, ja tarvittava tieto siirtyy aina seuraavaan vaiheeseen. Suunnittelijoiden eri suunnitelmaratkaisuille on omat mallinsa [26]:

- Tilaryhmämalli: pitää sisällään tilaryhmien muodot, koot ja sijainnit. Rakennuksen massan ja tilaryhmittelyn tutkiminen onnistuu tämän mallin avulla.
- Tilamalli: pitää sisällään yksittäiset tilat. Voidaan käyttää rakennuksen elinkaarikustannusten ja ympäristövaikutusten tutkimiseen.
- Alustava rakennusosamalli: pitää sisällään alustavat tiloja rajaavat rakennusosat ilman spesifimpää tuoterakennetta.
- Rakennusosamalli: pitää sisällään yleisesti määritellyt rakennusosat ilman määriteltyjä lopullisia tuotevalintoja.
- Rakennemalli: pitää sisällään staattisen mallin, kuormitukset ja oleelliset rakenteelliset vaatimukset.

- Tuoteosamalli: rakennusosamalli, jota on täydennetty valittujen rakennustuotteiden osalta.

Kaikkien suunnittelijoiden malleista tehdään yhdistelmämalli, eli yhdistetään kaikki mallit yhtenäiseksi tietomalliksi. Yhdistelmämallilla voidaan yhteensovittaa ja havainnollistaa suunnitelmia. Yhdistelmämallin laatimisesta vastuussa on tietomallikoordinaattori. Tietomallikoordinaattori voi olla esimerkiksi pääsuunnittelija tai ulkopuolinen konsultti. Toteutussuunnitteluvaiheessa yhdistelmämallilla tehdään erilaisia tarkasteluja, joita ovat esimerkiksi TATE-järjestelmien törmäystarkastelut, järjestelmien ja rakenteiden törmäystarkastelut, järjestelmille varattujen tilojen riittävyden varmistaminen sekä reikä- ja varaussuunnittelu. [24, s. 9.]

Kevyiden rakenteiden taloteknisten läpivientien osalta oleellisinta tietoa sisältävät ARK- ja TATE-mallit. ARK- eli arkkitehtimalli sisältää kevyiden rakenteiden kuten väliseinien ja otsien objektit, jotka talotekniset reitit lävistävät. TATE- eli talotekniikkamallit sisältävät talotekniikan objekteja, kuten ilmanvaihtokanavia, viemäriputkia ja kaapelihyllyjä, jotka lävistävät kevyitä rakenteita. TATE-mallit mallinnetaan erikseen suunnittelualojen mukaisesti, esimerkiksi sähkö- ja LVI-mallit omina tietomalleinaan.

4.2.2 IFC-tiedosto

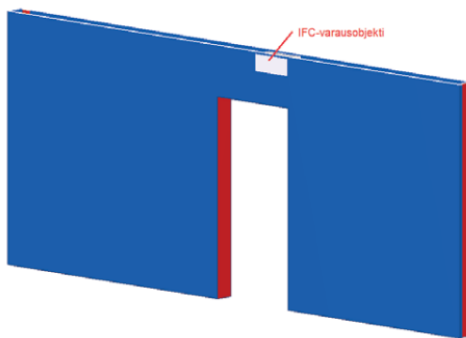
IFC (Industry Foundation Classes) on tietomalleissa yleisesti käytettävä tiedostomuoto. IFC tekee yhteismitallisesta tiedonsiirrosta mahdollista eri alojen ja ohjelmistojen välillä. IFC:tä kehittää jatkuvasti kansainvälinen, voittoa tavoittelematon yhteistyöfoorumi buildingSMART. [2, s. 17.]

IFC-tiedoston käyttö saa perustansa Yleiset tietomallivaatimukset 2012 -ohjeistuksesta. Käyttämällä IFC-tiedostoa tehdään mahdolliseksi suurempien ja laadukkaampien määrien tiedonvälitys eri osapuolien välillä, kuin perinteisillä dokumenteilla. Tiedostomuodon hyödyllisyyden edellytyksenä tarvittavissa

objekteissa on oltava tarvittavat tiedot objektien identiteeteistä ja tarkoituksista. [2, s. 17.]

4.2.3 Läpivientien tietomallintaminen

Tietomallipohjaista reikä- ja varaussuunnittelua käytetään yleensä vain kantavissa rakenteissa, mutta ei kevyissä rakenteissa. Tietomallipohjaista reikä- ja varaussuunnittelua käytettäessä kantavissa rakenteissa täytyy hankekohtaisesti reikäpiirustusten teko, vastualueet ja toimintatavat sopia RAK- ja TATE-suunnittelun välillä. On hyvin tärkeää varmistaa käytettävien ohjelmistojen yhteensopivuus eri suunnittelualojen välillä. Läpivientien paikantamisen ja suunnittelun helpottamiseen voidaan käyttää tietomallipohjaista törmäystarkastelua, jota voidaan tehdä yhdistämällä TATE-järjestelmämallit ja rakennesuunnittelijan malli sekä tarvittaessa arkkitehdin rakennusosamalli. Tätä menetelmää käytettäessä rakennesuunnittelija tuottaa ja toimittaa TATE-suunnittelijalle sovitussa muodossa mallin, joka on kerroskohtainen, ja sisältää yläpuolisen laataston sekä siihen liittyvät kantavat seinät. Tämän jälkeen TATE-suunnittelija tekee IFC-pohjaisen varausmallin [kuva 20], joka pitää sisällään vain varausobjektit, joka toimitetaan rakennesuunnittelijalle takaisin kerroskohtaisena. [25, s. 7.]



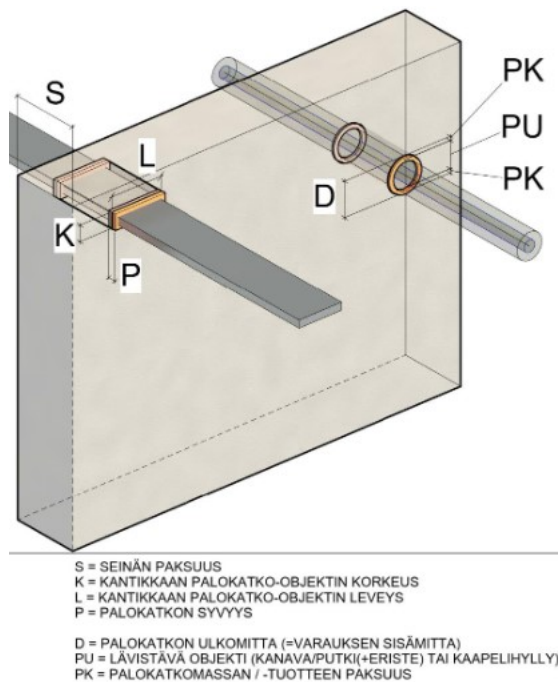
Kuva 20. IFC-varausobjekti rakennesuunnittelijan mallissa. [25, s. 7].

Varausobjekteja tehdessä niiden varaajasta on saatava selville helposti. Varausobjekteihin lisätään attribuuttitietoina niiden koot ja tunnisteet. Varausmalliin mallinnettavat varaukset on tehtävä siten, että ne ovat oikean kokoisia ja ne

sijoittuvat oikeaan paikkaan. Varausobjektit on mallinnettava paksumpana kuin läpäistävät rakenteet, jotta voidaan edesauttaa visuaalista tarkastelua ja rakennesuunnittelijan varauksen tekoa. Rakennesuunnittelija mallintaa mahdollisuuksien mukaan rakenteisiin läpivientireiät reikävarausobjektien avulla. Tilanteessa, jossa läpivientireiän tekeminen on rakenteellisesti mahdoton, täytyy rakennesuunnittelijan tiedottaa siitä TATE-suunnittelijalle, joka tekee uuden vaihtoehdon reikävarausobjektista rakennesuunnittelijan ehdotusten mukaisesti. [25, s. 7.]

4.2.4 Tietomallipohjainen palokatkosuunnittelu

Palokatkot ovat mahdollisia mallintaa omina palokatko-objekteinaan [kuva 21], jotka osoittavat määritetyt palokatkotuotteet tietosisältöineen. Jos palokatkot päätetään mallintaa, niin palokatkosuunnittelija on vastuussa palokatkomallin luomisesta, joka sisältää kaikkien kohteen osastoivien rakenteiden palokatkoobjektit IFC-tiedostomuodossa. Palokatkosuunnittelija tarvitsee muiden suunnittelijoiden toimittamat suunnitelmat lähtötiedoiksi. Palokatkosuunnittelija hyödyntää kantavissa rakenteissa TATE-suunnittelijan toimittamia, palokatkoiksi merkittyjä reikävarausobjekteja uusien palokatko-objektien luomiseksi. Toisin kuin normaaleja läpivientireikiä mallintaessa, tietomallipohjaisessa palokatkosuunnittelussa luodaan palokatkoobjektit myös kevyisiin rakenteisiin. Kevyiden rakenteiden palokatkoobjektit luodaan hyödyntämällä ARK- ja TATE-mallia sekä akustikon suunnitelmia. [44.]



Kuva 21. Esimerkki palokatko-objektin mittatiedoista. [44].

4.2.5 Hyödyt

Kevyiden rakenteiden taloteknisiä läpivientejä toteuttaessa tietomallista on hyötyä taloteknisten reittien ja palokatkojen mallintamisessa, eri TATE-alojen ja rakenteiden yhteensovituksessa, hahmottamisessa ja tietomallista mittaamisessa. Taloteknisten reittien ja palokatkojen mallintaminen havainnollistaa toteutettavien läpivientireikien toteutusta, kun suunnitelmat voidaan tuoda helposti esitettävään visuaaliseen muotoon, jolloin se tekee niistä helpommin ymmärrettäviä ja hahmotettavia. Eri TATE-alojen ja rakenteiden yhteensovitus paranee, kun kaikki tarvittavat suunnitelmat ovat yhdistelmämallissa kerralla tarkasteltavissa. Tietomallista on myös mahdollista ottaa mittoja tietomallia käyttämän sovelluksen työkaluilla, joka auttaa varsinkin niissä tilanteissa, kun esimerkiksi läpivientireiän etäisyydet toisiinsa tai rakenteisiin ovat epäselviä.

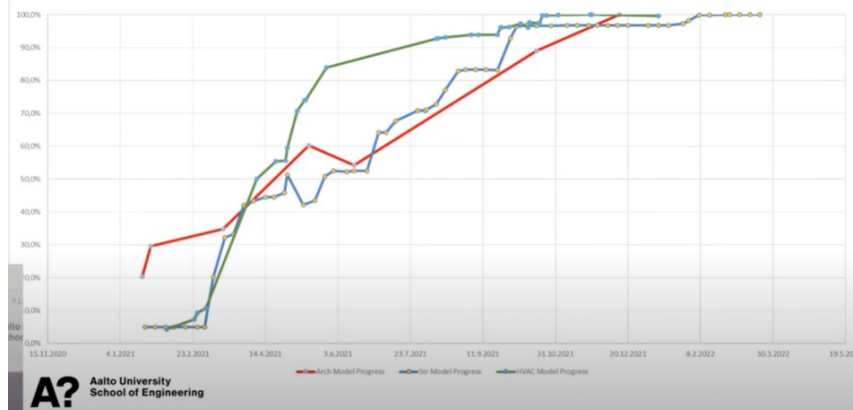
4.2.6 Haasteet

Kevyiden rakenteiden taloteknisten läpivientien osalta suurimpana haasteena on se, ettei niissä usein mallinneta varausobjekteja, kun taas kantavissa rakenteissa ne mallinnetaan. Tämä johtaa epäselvyyksiin toteutettavan reikävarauksen kokoon, koska rakenteen mukaan lävistävän putken eriste voi joko jatkua yhtenäisenä rakenteen läpi tai olla jatkumatta. Kun joudutaan tarkastelemaan toteutettavan reiän kokoa muistakin suunnitelmista kuin tietomallista, siihen kuuluu ylimääräisiä resursseja. Tietomallin yksi suurimmista eduista, eli suunnitelmien kokoaminen yhteen visuaaliseen muotoon, ei voi toteutua näin.

Kevyiden rakenteiden taloteknisten reittien läpivientien paikalleenmittauksen suurena haasteena on TATE-mallien vajavainen geometria. Mallinnetut talotekniikan objektit eivät välttämättä vastaa täysin todellisia, asennettavia osia esimerkiksi käänösäteiltään. IFC-mallien objektit eivät tue parhaalla mahdollisella tavalla paikalleenmittausta, koska niissä ei ole luonnollisesti keskipisteitä ja vektoreita, ja putkiobjektit eivät ole täysin pyöreitä, vaan ne muodostuvat segmenteistä.

Suuri vaikuttaja tietomallin haasteisiin kevyiden rakenteiden läpivientien osalta on se, että usein TATE-malli valmistuu ennen ARK-mallia [kuva 22]. Kun tehdään talotekniikkahankintoja, TATE-malli tehdään mahdollisimman tarkaksi tarjouslaskentaa varten, vaikka ARK-malli ei ole riittävällä valmiustasolla. Tämä johtaa luonnollisesti siihen, että mahdollisten törmäysten määrä kasvaa. [4.]

TATE-malli valmistuu ennen RAK ja ARK-mallia?



Kuva 22. Kuvaaja TATE-, RAK- ja ARK-mallien valmistumisajankohdan vertailusta. Punainen viiva on ARK-malli, sininen viiva on RAK-malli ja vihreä viiva on TATE-malli. Kuvakaappaus Building 2023 -viikon ”Suunnitteluprosessi 2.0” -osuuden YouTube-tallenteesta. [4].

4.3 Trimble Ri -mittalaitteen testi työmaaolosuhteissa

4.3.1 Trimble Ri

Trimble Ri -takymetri [kuva 23] on vuoden 2022 lopussa julkaistu mittalaite. Se on toteutettu sillä periaatteella, että se olisi niin helppokäyttöinen, että sitä voi käyttää sellaisetkin talonrakentamisen toimijat, jotka eivät ole rakennusmittauksen ammattilaisia. Periaatteessa työryhmän nokkahenkilö voisi olla laitteen kohderyhmää. Laitteella on autonomiset toiminnot ja se on helppokäyttöinen. Laitteessa käytetään Trimble FieldLink -ohjelmistoa, jossa on helppokäyttöinen, suomenkielinen käyttöliittymä. [28.]



Kuva 23. Trimble Ri -takymetri. [27].

Autonomisilla toiminnoilla tarkoitetaan itsenäisiä toimintoja. Trimble Ri -takymetrin ominaisuuksiin kuuluu automaattinen itsekalibrointi ja vakauden korjaus. Laitteen käynnistyessä se tunnistaa oman asentonsa, eli onko se täysin suorassa vai ei. Oman asentonsa tunnistettuaan laite laskee kulman, ja huomioi sen seuraavissa mittaustehtävissä. Laite myös kalibroi itsensä autonomisesti, mikä lisää luottamusta mittaustuloksiin ja vähentää huoltoväliä. Tämän kaiken laite suorittaa noin kolmessa minuutissa. [28.]

4.3.2 Testin tavoitteet

Testi toteutettiin NCC:n työmaalla We Land Helsingin Ruoholahdessa. We Land [kuva 24] on NCC:n, Helsingin kaupungin ja JKMM Arkkitehtien kanssa yhteistyössä kehittämä toimistotalo, jonka laajuus on toimistotilaa 18 000 m² ja ravintola- ja kahvilapalveluita 1700 m². Testi suoritettiin työmaan kerroksessa 13. [29].



Kuva 24. Kuvituskuva We Land -toimistotalosta. [29].

Testin tavoitteena oli selvittää mahdollisia käyttötapauksia tietomallipohjaiselle rakennusmittaukselle taloteknisten läpivientireikien paikalleen mittaamisessa Trimble Ri -takymetrillä. Aluksi oli sovittu, että testissä mitataan paikalleen taloteknisiä läpivientireikiä levyrakenteisissa väliseinissä ja otsissa, sekä harkkorakenteisissa väliseinissä. Testin lähestyessä kuitenkin todettiin, että vain levyrakenteisiin seiniin ja otsiin voitiin suorittaa paikalleen mittauskokeita, koska harkkorakenteiset väliseinät oli jo muurattu, ja läpivientireiät porattu. Lisäksi konsulttimalla NCC:n mittahenkilöä todettiin yhdessä, että läpivientireikien paikalleen mittaaminen harkkorakenteissa ei eroa mittaustyönä levyrakenteista. Levyrakenteiset väliseinät ja otsat olivat vielä rakentamisvaiheessa, ja kaikkia läpivientireikiä ei vielä ollut tehty tai mitattu paikalleen, joten niissä voitiin toteuttaa testi.

4.3.3 Testin toimintatavat

Kun oli päätetty, että testi toteutetaan 13. kerroksessa, NCC:n VDC-tiimi ”pilkkoi” tietomallin siten, että 13. kerros erotetaan muusta tietomallista, ja jokainen työssä tarvittava suunnitteluala (ARK, RAK, LVI ja S) ovat erillisinä IFC-tiedostoina. Lisäksi kaikki käytettävä materiaali tuotettiin yhtenäisessä suunnittelu-koordinaatistossa. Tietomalli päätettiin muokata tällaiseksi, jotta takymetria

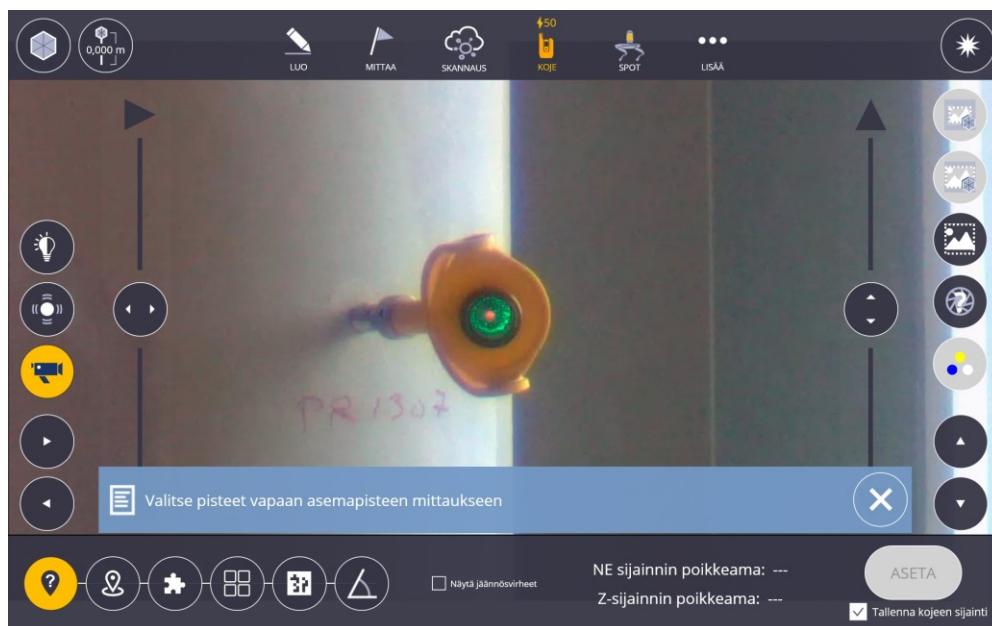
käytettäessä voitaisiin ”sammuttaa” niitä mallin osia, joita ei tarvittaisi käytännön paikalleenmittausta testattaessa, jotta voitaisiin minimoida laitteiston kuormitusta. Tietomallin lisäksi työmaan mittahenkilö toimitti 13. kerroksen kiintopisteiden sijainnit pohjakuvana sekä CSV-tiedostona.

Testissä käytetty Trimble Ri -takymetri, DT Research 301Y -tablettitietokone ja kolmijalka saatiin muutaman päivän ajaksi lainaan Geotrim Oy:ltä. Geotrim Oy antoi perehdytyksen laitteiden käyttöön työmaalla. Perehdytyksessä käytiin läpi laitteiston ominaisuudet, materiaalin lataaminen käyttöä varten, laitteiston käyttöönotto ja asemointi sekä mittaustoiminnot. Yhdessä kouluttajan ja mittahenkilön kanssa todettiin läpivientien paikalleen mittaamiseen kaksi eri toimintatapaa: esivalmisteltu materiaali ja työmaalla sovellettava materiaali. Materiaalilla tarkoitetaan tässä tapauksessa mittalaitteistossa hyödynnettäviä tietomallinnettuja suunnitelmia, ja molemmat toimintatavat ovat kuvattu yksityiskohtaisesti alempana tekstissä. Lisäksi todettiin, että läpivientireikien pisteitä määrittäessä pisteet tulisi luoda sovelluksessa molemmin puolin lävistettävää rakennetta, koska lävistettävät rakenteet eivät välttämättä ole täysin suunnitellussa sijainnissaan, ja näin saataisiin luotua sovelluksessa pisteiden välille viiva, jonka perusteella voitaisiin mitata läpivientireikä suunnitellulle paikalleen. Molemmissa toimintatavoissa yhteistä oli se, että tietomallit tulisi valmistella siten, että ne sisältävät vain mittauksessa tarvittavan datan, eli tietomallit pilkottuna eri suunnittelualojen mukaisesti ja kerroskohtaisesti.

4.3.4 Materiaalin lataaminen ja mittalaitteen asemointi

Molemmille toimintatavoille yhtenäistä oli materiaalin lataaminen Trimble FieldLink -sovellukseen ja takymetrin asemointi työmaalla. Sovellukseen ladattiin mittaustyössä käytettävät tietomallit sekä 13. kerroksen kiintopisteet CSV-tiedostona. Mitattavien läpivientien sijainnin mukaan aseteltiin kolmijalka sopivalle paikalle, eli sellaiselle, josta oli selvä näkymä vähintään kolmelle kiintopisteelle ja mitattavalle läpiviennille. Takymetri asetettiin kolmijalan päälle, kiinnitettiin siihen WIFI-antennit sekä akku, ja käynnistettiin takymetri. Takymetri suoritti käynnistyessään autonomiset käynnistystoimintonsa, eli sisäisen kalibroitinsa.

Kun takymetri oli suorittanut autonomiset käynnistystoimintonsa, se yhdistettiin tablettitietokoneen Trimble FieldLink -sovellukseen, ja toteutettiin asemointi kolmen kiintopisteen avulla. Kiintopisteinä käytettiin tunneliprismoja sekä prismatarroja. Tunneliprismoihin laite lukittui jokaisella kerralla automaattisesti [kuva 25], ja prismatarroissa lähes aina. Prismatarroissa huomattiin valaistuksen vaikuttavan lukittautumiseen. Tapauksissa, missä automaattinen lukittautuminen prismatarroihin ei onnistunut, prismatarran keskikohdan paikantaminen onnistui manuaalisesti takymetrin laseria ohjaamalla. Kun takymetri oli saatu asemoitua [kuva 26], mittaustyö voitiin aloittaa.



Kuva 25. Takymetri onnistui jokaisella yrityksellä lukittautumaan tunneliprismaan automaattisesti. Takymetri heijasti tunneliprismaan vihreää valoa, jos lukittautuminen onnistui. Kuvakaappaus Trimble FieldLink -sovelluksesta.

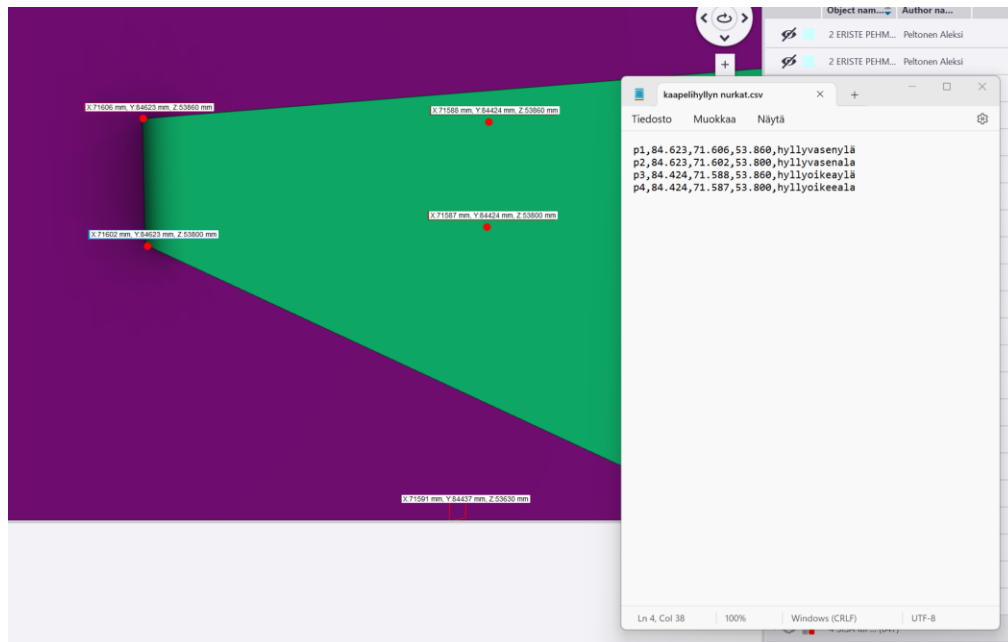


Kuva 26. Takymetri asemoituna kiintopisteiden avulla. Sovellus kertoi kiintopisteiden luotettavuuden sekä NE- sekä Z-sijaintien poikkeamat. Kuvakaappaus Trimble FieldLink -sovelluksesta.

4.3.5 Esivalmisteltava materiaali

Esivalmisteltavan materiaalin toimintatavassa luotiin tietomallia käyttämällä CSV-tiedosto (Comma-Separated-Value), joka piti sisällään mitattavan läpiviennin koordinaatit. CSV-tiedosto tekee yksinkertaisten taulukkomuotoisten tietojen tallentamisesta mahdollista tekstitiedostoon. Testissä kokeiltiin tätä toimintatapaa kaapelihyllyn läpiviennin paikalleen mittaamisessa. CSV-tiedosto luotiin merkitsemällä tietomallissa kaapelihyllyn nurkkapisteet, ja kirjoittamalla Windowsin Muistio-sovellukseen niiden koordinaatit seuraavassa järjestyksessä: pisteen tunnus, X-koordinaatti, Y-koordinaatti, Z-koordinaatti ja pisteen nimi [kuva 27]. X- ja Y-koordinaattien luvut kirjoitettiin toisin päin, koska suunnittelu tehdään matemaattisessa koordinaatistossa, ja mittaaminen tehdään geodeettisessä koordinaatistossa, ja näiden koordinaatistojen X- ja Y-koordinaatit ovat toisin päin. Tämän osion yhteydessä päätettiin testata mittaamista sellaisten pisteiden perusteella, jotka olivat vain toisella puolella lävistettävää rakennetta, jotta selviäisi laitteen kyky tunnistaa ja ilmoittaa, jos pisteitä ei olisi mahdollista mitata täysin suunnitelluille paikoilleen johtuen lävistettävän rakenteen

virheellisestä sijainnista. Kun kaapelihyllyn jokaiselle nurkalle oli kirjoitettu koordinaatit sovellukseen, tiedosto tallennettiin CSV-tiedostona. Tiedoston tallentamisen jälkeen se ladattiin tablettitietokoneelle, ja siirrettiin Trimble FieldLink -sovelluksessa luodun projektin käyttöön.



Kuva 27. CSV-tiedoston luominen kaapelihyllyn nurkkapisteiden koordinaateilla. Kuvakaappaus Trimble Connect -sovelluksesta.

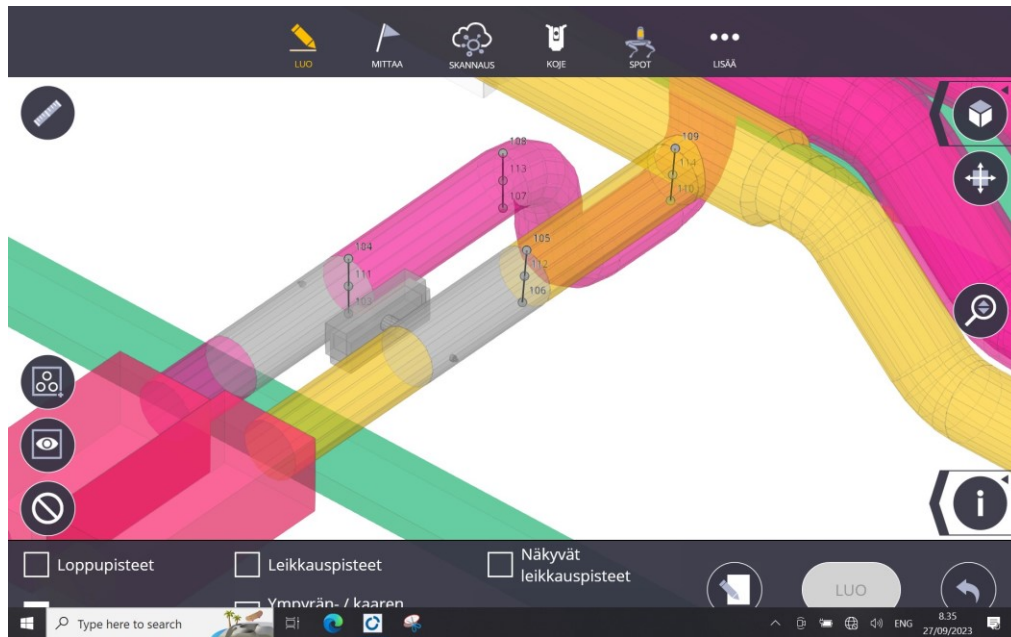
Laitteen asemoinnin jälkeen sovelluksesta valittiin seinien läpivientien mittaus-toiminto, ja valittiin mitattavaksi nurkkapiste kerrallaan. Takymetri ei suostunut tallentamaan mitattuja pisteitä, koska kohdistus suunniteltuun sijaintiin epäonnistui kolmen yrityksen jälkeen, koska mittapoikkeamat ylittivät takymetrin toleranssit [kuva 28]. Vaikka kohdistus epäonnistui, takymetri kuitenkin osoitti laserilla koordinaattien perusteella tarkinta sijaintia, johon se kykeni. Lävistettävään rakenteeseen merkittiin laserin perusteella läpiviennin jokainen nurkka ja merkinnän päivänmäärä sekä mittanauhalla mitattiin läpiviennin yläpinnan korko rakenteen yläpinnasta sekä sivuttaisetäisyys rakenteesta.



Kuva 28. Kaapelihyllyn nurkkien paikalleen mittaaminen epäonnistui, koska nurkkapisteitä ei ollut määritelty molemmiin puolin lävistettävää rakennetta. Kuvakaappaus Trimble FieldLink -sovelluksesta.

4.3.6 Työmaalla sovellettava materiaali

Työmaalla sovellettavan materiaalin toimintatavassa luotiin työmaaolosuhteissa tablettitietokoneella Trimble FieldLink -sovelluksessa läpivietävien ilmanvaihtokanavaobjektien etu- ja takapäiden ylä- ja alapinnoille pisteet. Nämä pisteet yhdistettiin luomalla viivat niiden välille, ja viivoille määritettiin keskipisteet [kuva 29]. Keskipisteiden luomisen jälkeen suoritettiin mittaus sovelluksen seinien läpivientien mittaustoiminnolla. Mittaus suoritettiin valitsemalla läpivietävän ilmanvaihtokanavan etu- ja takapään keskipisteet, jolloin takymetri osoitti laserilla läpivientipisteen [kuva 30]. Lävistettävään rakenteeseen merkittiin laserin perusteella ilmanvaihtokanavien läpivientireikien keskikohdat, halkaisijat ja merkintöjen päivänmäärät. Lisäksi suoritettiin suuntaa antava tarkistusmittaus mittanauhalla tätä testiä varten mittaamalla keskikohtien korot rakenteen yläpinnasta. Varsinainen paikalleenmittaus ei vaadi tarkistusmittausta mittanauhalla.



Kuva 29. Ilmanvaihtokanavien luodut pisteet, joiden mukaan läpivientireiät mitattiin paikalleen. Kuvakaappaus Trimble FieldLink -sovelluksesta.



Kuva 30. Ilmanvaihtokanavien läpivientireikien paikalleen mittaaminen käyttäen keskipisteiden välistä linjaa. Takymetri osoitti laserilla läpivientipisteen, ja tallensi sen sijainnin. Kuvakaappaus Trimble FieldLink -sovelluksesta.

4.3.7 Testin tulokset

Läpivientien paikalleen mitatut sijainnit tarkistettiin vertailemalla niiden keskikoh-
tien korkoja suunnitelmiin mittanauhan avulla, ja vertailemalla tietomallin ja taky-
metrin osoittamia koordinaatteja. Ilmanvaihtosuunnitelmien mukaan vasemman
ilmanvaihtokanavan keskikohdan korko oli +54,225 ja oikean ilmanvaihtokana-
van keskikohdan korko oli +54,275. Sähkösuunnitelmien mukaan kaapelihyllyn
yläpinnan korko oli +53,860 ja alapinnan korko oli +53,800. Koska kaapelihyllyn
osalta ei onnistuttu tallentamaan takymetrin osoittamia sijainteja, mitattiin mitta-
nauhalla kaapelihyllyn koron lisäksi sen etäisyys lähimpään seinärakenteeseen.
Mittanauhalla suoritettujen tarkistusmittaukset eivät missään nimessä voi olla kovin
tarkkoja, koska ei voitu olla varmistuttu referenssipinnan, eli ota- ja väliseinära-
kenteen oikeasta sijainnista. Mittanauhalla suoritettujen, suuntaa antavan tarkis-
tusmittauksen perusteella todettiin seuraavaa [taulukko 2; taulukko 3]:

Taulukko 2: Ilmanvaihtokanavien tarkistusmittaustulokset.

Mitattu osa	Suunniteltu korko	Toteutunut korko
Vasen ilmanvaihtokanava	+54,225	+54,230
Oikea ilmanvaihtokanava	+54,275	+54,280

Taulukko 3: Kaapelihyllyn tarkistusmittaustulokset.

Mitattu osa	Suunniteltu korko	Toteutunut korko	Suunniteltu etäisyys seinään	Toteutunut etäisyys seinään
Kaapelihylly	+53,860	+53,880	440 mm	420 mm

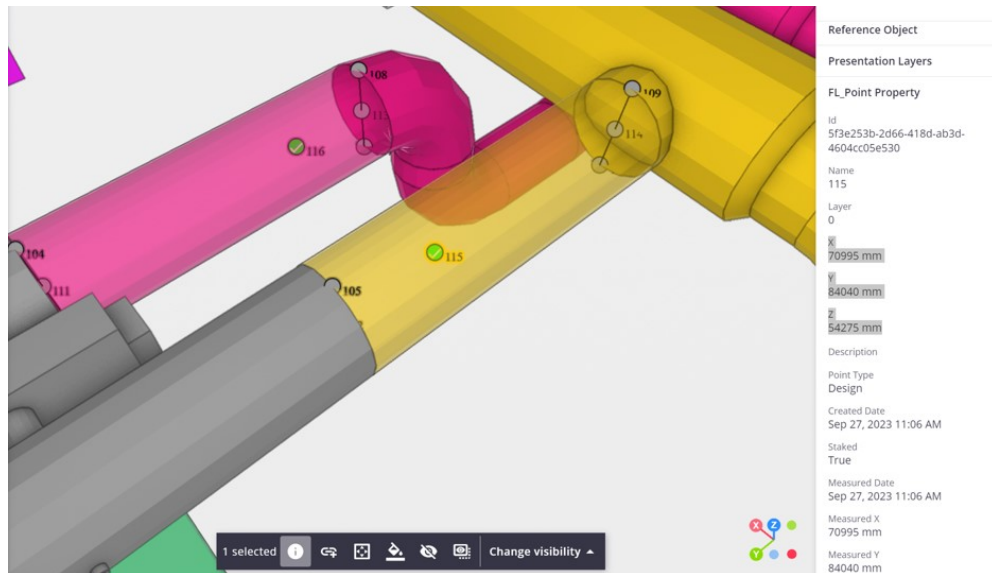
Trimble FieldLink -sovelluksesta sai tallennettua tiedoston mitattujen pisteiden koordinaateista [kuva 31], joita vertailtiin tietomallin koordinaatteihin. Sovellus ei suostunut tallentamaan kaapelihyllyn nurkkien pisteiden sijainteja johtuen aiemmin mainitusta toleranssien ylityksestä, joten tuloksia tarkasteltiin tällä tavalla vain ilmanvaihtokanavien osalta. Koordinaattien vertailusta todettiin seuraavaa [taulukko 4; taulukko 5]:

Taulukko 4: Vasemman ilmanvaihtokanavan koordinaattien vertailu.

Koordinaattien lähde	X	Y	Z
Tietomallin koordinaatit	84,009	71,311	54,225
Takymetrin koordinaatit	84,011	71,318	54,225

Taulukko 5: Oikean ilmanvaihtokanavan koordinaattien vertailu.

Koordinaattien lähde	X	Y	Z
Tietomallin koordinaatit	84,037	71,001	54,275
Takymetrin koordinaatit	84,040	70,995	54,275



Kuva 31. Mitatun ilmanvaihtoputken läpiviennin 115 sijaintitiedot. Kuvakaappaus Trimble Connect -sovelluksesta.

Testin tuloksia tarkasteltaessa täytyy ottaa huomioon, että tuloksiin vaikuttaa käytettävä prismakalusto ja sen tasaimen tarkkuus, takymetrin asemoinnin huolellisuus, työmaan kiintopisteet, joista vapaa kojeasema määritellään, onko läpäistävä rakenne, kuinka tarkasti asennettu paikalleen, käytettävien tietomallien ajantasaisuus ja todenmukaisuus sekä referenssipinnan sijainti mittanauhaa käyttäessä. Trimble Ri -takymetrin tulosten luotettavuuteen vaikuttaa eniten

laitteen sisäinen kalibrointi, joka huomioi mittauksen olosuhteet, kuten lämpötilan, ja eliminoi ne mahdollisimman hyvin. Sisäisen kalibroinnin seurauksena Trimble Ri -takymetri toteuttaa mittauksessa sen tarkkuuden, johon se on teknisten tietojen [kuva 32] mukaan määritelty. [32.]

Trimble Ri Robotic Total Station

Performance

Accuracy

Angle Accuracy

(based on ISO 17123-3)

2" (0.6 mgon) / 3" (0.9 mgon)

Automatic level compensator

Type

MEMS, dual-axis, self-leveling

Accuracy

2" (0.6 mgon)

Working Range

± 5 gon (± 4.5 °)

Distance measurement

Accuracy to Reflectors (based on ISO 17123-4)

Standard

2 mm (0.007 ft) + 2 ppm

Tracking

3 mm (0.01 ft)

Accuracy Reflectorless Mode

2 mm (0.007 ft) + 2 ppm

Kuva 32. Trimble Ri -takymetrin tekniset tiedot. Laitteen kulmamittauksen tarkkuus on valinnan mukaan 0,6 tai 0,9 milligoonia. Kulman vaikutus etäisyyden suhteessa esimerkiksi 20 metrin matkalla on kahden tuuman rungolla 0,2 millimetriä ja kolmen tuuman rungolla 0,3 millimetriä. Kun tähän lisätään etäisyysmittauksen tarkkuus 2 millimetriä, kokonaistarkkuus muodostuu niistä. Yleisesti takymetrimittauksen tarkkuus huolellisesti suoritettuna antaa tuloksen 1–5 millimetrin tarkkuudella alle 100 metrin matkalla. [32].

Trimble FieldLink -sovelluksesta voidaan tulostaa päivittäisen merkinnän yhteenvedon (Daily Report Summary) [liite 1], joka antaa kattavan raportin mitaustyön toteutuksesta. Kyseessä oleva raportti kertoo kojeen sijainnin ja sijaintitarkkuuden, kiintopisteiden sijainnit, laadun ja etäisyyden kojeesta, mitaustyöhön käytetyn merkintäajan sekä mitattujen pisteiden toteutuvuuden laitteen toleransseissa.

Testin tulosten perusteella voidaan todeta, että kyseistä kalustoa käytettäessä tarkan tuloksen saavuttamiseksi on läpivientireiälle luotava pisteet molemmin puolin läpäistävää rakennetta. Ilmanvaihtokanavien läpivientireiät, joissa käytettiin rakenteen molemminpuolisia pisteitä, saatiin mitattua paikalleen 1–5

millimetrin sisään. Kaapelihyllyn läpivientireikä, jossa käytettiin vain yhdenpuolisia pisteitä, saatiin oletettavasti mitattua 20 millimetrin sisään. Kaapelihyllyn läpivientireiän mittauksessa on kuitenkin huomioitava, mittanauhalla suoritettua tarkistusmittausta voidaan tulkita vain suuntaa antavana. 1–5 millimetriä on yleisesti huolellisesti suoritettun takymetrimittauksen tarkkuus rakennusmittauksen ammattilaisen mukaan, joten voidaan todeta tämän testin mittaustulokset onnistuneeksi ilmanvaihtokanavien läpivientireikien osalta. Tämän testin mukaisen tietomallipohjaisen rakennusmittauksen käytännöllisyyttä kevyiden rakenteiden läpivientireikien paikalleenmittauksessa käsitellään työn Johtopäätökset-osi-
ossa.

Rakennusalalla käytetään erilaisia toleransseja, eli sallittuja poikkeamia. Näitä toleransseja käytetään riittävän mittatarkkuuden ilmaisemiseen. Mittauksissa tähdätään aina tulokseen, jossa mittatarkkuudessa ei ole poikkeamia, mutta laitteistojen tarkkuus ja niiden käyttö asettavat rajoituksia mittatarkkuuteen. Taloteknisille läpivienneille ei ole erikseen määritetty sallittua sijainnin mittapoikkeamaa. Levyrakenteille ei ole määritetty reikien ja aukkojen sallittua mittapoikkeamaa, mutta muuratulle harkkorakenteelle on. Muuratussa harkkorakenteessa reikien ja aukkojen sallittu mittapoikkeama on ± 20 millimetriä. [33, s. 22, 34, s. 134.]

5 Haastattelut

5.1 Haastattelujen tavoitteet ja toimintatavat

Haastattelujen tavoitteena oli kerätä tietoa taloteknisten läpivientien toteuttamisesta, toteuttamisen ongelmista sekä mahdollisista ratkaisuehdotuksista. Haastateltavia oli yhteensä seitsemän henkilöä ja jokaisella oli eri työnkuva. Haastatteluihin osallistui neljä eri työnjohtajaa, jotka olivat vastuussa talotekniikasta ja väliseinärakenteista pääurakoitsijan puolesta ja ilmanvaihtoasennuksista aliurakoitsijan puolesta, talotekniikan asiantuntija, mittahenkilö ja VDC-asiantuntija. Kysymykset lähetettiin haastateltaville etukäteen. Haastattelut toteutettiin Microsoft Teams -sovelluksen välityksellä ja kasvotusten.

5.2 Haastattelujen tulokset

Haastattelujen tulokset ovat esitetty alla kysymyskohtaisesti. Kysymykset esitettiin haastateltavien työnkuvan mukaisesti. Jokaisen kysymyksen perään on merkitty lyhenteillä, keneltä kysymys on kysytty. Lyhenteiden selitteet:

- TJT = talotekniikasta vastuussa ollut työnjohtaja
- TJVSL = levyrakenteisista väliseinistä vastuussa ollut työnjohtaja
- TJVSM = harkkorakenteisista väliseinistä vastuussa ollut työnjohtaja
- TJIV = ilmanvaihtoasennuksista vastuussa ollut työnjohtaja
- TA = talotekniikan asiantuntija
- MH = mittahenkilö
- VDC = VDC-asiantuntija

Mitkä ovat työnkuvasi näkökulmasta taloteknisten läpivientien toteuttamisen kevyissä rakenteissa suurimmat ongelmat? - TJT, TJVSL, TJVSM, TJIV, TA, ja MH

Kaikkien haastateltavien vastauksista korostui seuraavat ongelmat: suunnittelun yhteensovittamisen ja törmäystarkastelujen puutteet, taloteknisten suunnitelmien alttius muutoksille sekä toteutuksessa kommunikoinnin ja urakkarajojen haasteet, kun läpivientireikiin liittyy monta eri osapuolta. Suunnittelun ongelmat ilmenevät käytännössä siten, että tehdään muutoksia taloteknisiin järjestelmiin niin myöhäisessä vaiheessa että muutosten toteuttaminen hankaloituu, ei kiinnitetä riittävästi huomiota muutosten vaikutukseen muihin rakenteisiin, sekä yleisesti törmäilyjen esiintymisenä työmaalla. Toteuttamisen ongelmat ilmenevät käytännössä siten, että läpivientireikiä tehdään väriin paikkoihin ja väärän kokoisina, joka johtaa kustannus-, laatu- ja aikatauluhaasteisiin. Lisäksi yleisenä ongelmana koettiin se, että taloteknisistä läpivienneistä ei ole olemassa yleistä ohjeistusta. [37; 39; 40; 41; 42; 43.]

Levyrakenteisten väliseinien läpivientien ongelmiksi todettiin isojen läpivientireikien toteuttamisen haasteellisuus, korkojen vaihtelun niissä kohdissa, jossa läpivientejä tehdään paljon, taloteknisten reittien tilanpuute sekä läpivientien toteutus siten, etteivät ne vaikuta liian negatiivisesti väliseinärakenteeseen. Isoja taloteknisiä läpivientejä toteuttaessa usein katkaistaan väliseinien rankoja, koska läpivientejä ei olla otettu riittävän hyvin huomioon ennen väliseinien toteutusta. TATE-urakoitsijat asentavat taloteknisiä reittejä katon rajaan ottamalla asennuskoron tilan yläpinnasta, usein ontelolaattarakenteesta. Ontelolaatat taipuvat jonkin verran, joka johtaa siihen, että korko ei ole täysin sama ontelolaatan jokaisesta kohdasta mitattuna. Tämän takia voi tulla ongelmia niissä kohdissa, joissa taloteknisiä läpivientejä on paljon. [41.]

Sähkön läpiviennit usein ylimitoitetaan kevyissä rakenteissa, koska suunnitelmassa ei ole määritetty läpivientejä erikseen, joten asentaja joutuu itse mitoittamaan ne. Ylimitoitus johtuu myös talotekniikan alttiudesta muutoksille, kuten tilanteissa, missä lisätään talotekniikan määrää. Lisäksi ylimitoitus johtuu

urakkarajan määräyksistä läpivientireikien toteuttamisessa, esimerkiksi urakoitsija tekee vain 50 millimetriin asti, ja sitä suuremmat tekee pääurakoitsija. Läpivientejä tehtäessä ei muisteta tai ymmärretä noudattaa läpäistävän rakenteen vaatimuksia. Törmäilyt voidaan olla havaittu, mutta niitä ei ole syystä tai toisesta korjattu. Tehdään muutoksia, jotka jäävät tarkastelematta törmäysten varalta, esimerkiksi vaihdetaan talotekniikan tuotteita, jonka takia ei mahduta asentamaan alkuperäistä reittiä. [42.]

Harkkorakenteisten väliseinien ongelmiksi todettiin edellä mainittujen lisäksi tekniikan asentaminen harkkorakenteen sisälle ja työjärjestys, jos läpivietävä talotekniikan osa asennetaan ennen läpivietävän rakenteen toteuttamista. Harkkorakenteisten väliseinien sisällä on asennustilaa talotekniikalle, mutta se on hyvin rajallista, joten niitä joudutaan usein roiloamaan, mikä taas aiheuttaa lisäkustannuksia. Joissain kohteissa voidaan joutua asentamaan esimerkiksi sadevesiviemäriinjasto ennen muurattujen väliseinien toteuttamista. Näissä tilanteissa todettiin haasteelliseksi läpivientien toteuttaminen, koska läpivientireikää ei voida toteuttaa täysin oikean kokoisena, vaan läpivietävän talotekniikan osan ympärille täytyy muurata, jolloin aukosta jää sen verran iso, että sen tiivistäminen hankaloituu. [43.]

Millaisia kehitysehdotuksia sinulla on taloteknisten läpivientien toteuttamiseen kevyissä rakenteissa? - TJT, TJVSL, TJVSM, TJIV, TA, ja MH

Haastatteluissa todettiin seuraavat kehitysehdotukset: läpivientien huomioon ottaminen jo väliseinän rakennusvaiheessa, haastavimmille läpivientikohdille omat detaljikuvat, työjärjestyksen muuttaminen, tarkempi suunnitelmien yhteensovittaminen ja törmäystarkastelu, yleinen ohjeistus taloteknisille läpivienneille, urakkarajan muutos ja läpivientien tarkempi katselmointi. Läpiviennit tulisi ottaa huomioon jo väliseinän rakennusvaiheessa, jotta väliseinä voidaan toteuttaa siten, että läpivientireikien tieltä ei jouduttaisi katkaisemaan seinän tukirakenteita. Yleisesti haastavimpien kohtien omat detaljikuvat auttaisivat läpivientien toteutuksessa, koska se tekisi siitä huomattavasti selkeämpää, kun ei jouduttaisi työmaalla soveltamaan ja päättämään tasokuvista haluttua lopputulosta. Lisäksi

suunnittelua voitaisiin parantaa siten, että läpivientisuunnitelmissa viitattaisiin niihin suunnitelmiin, joissa on määritetty läpäistävien rakenteiden vaatimukset. [37; 39; 40; 41; 42; 43.]

Työjärjestykseen ehdotettiin sellaista muutosta, jossa kaikki levyväliseinät rakennetaan otsarakenteella, eli rakennettaisiin ainoastaan otsarakenne ennen loppua väliseinärakennetta. Tämä työjärjestys parantaa taloteknisten reittien asentamisen ja läpivientien tekemisen logistiikkaa, lisää työskentelytilaa ja tekee yleisesti työn suorittamisesta selkeämpää. Työjärjestyksen muutosta ehdotaneella työnjohtajalla on kokemusta kahdesta projektista, missä on hyödynnetty tätä työjärjestystä, ja hänen kokemuksensa siitä ovat positiivisia. [39.]

Urakkarajaan ehdotettiin sellaista muutosta, jossa vastuu taloteknisistä läpivienneistä siirrettäisiin suoraan niiden urakoitsijoiden vastuulle, joiden urakkaan läpiviennit liittyvät. Nykyisessä muodossaan useimmiten läpivientireiät merkitään TATE-urakoitsijoiden toimesta, ja itse reiät tehdään joko pääurakoitsijan tai väli-seinäurakoitsijan toimesta. Jos TATE-urakoitsijat olisivat itse vastuussa omien läpivientireikiensä toteuttamisesta, mahdollisesti he tekisivät ne tarkemmin, ”kerralla kuntoon”-tavoitteella. Läpivientien ”kerralla kuntoon”-tavoitteen toteutuksessa helpottaisi myös läpivientien tarkempi merkintä. Jotta läpiviennit voitaisiin merkitä tarkemmin paikoilleen, tulisi merkintöihin liittyvistä toimenpiteistä sopia tarkemmin, ja merkinnät tulisi katselmoida ja todeta sovitun mukaisiksi yhdessä pääurakoitsijan ja TATE-urakoitsijoiden kanssa. [41; 42; 43.]

Harkkorakenteisissa väliseinissä voitaisiin käyttää enemmän läpivientikappaleita, varsinkin suurimmissa läpivienneissä. Timanttiporaus on kallista, etenkin suurimmissa läpivienneissä. Läpivientikappaleilla voitaisiin säästää kustannuksissa, kun ei jouduttaisi käyttämään timanttiporausta. Vaihtoehtoisesti muurausurakoitsija voisi jo muurausvaiheessa asentaa läpivientiputket väliseinärakenteiden sisälle. Voitaisiin myös käyttää suurempaa tiilikokoa, jotta sisällä kulkevan tekniikan asennus helpottuisi. Toisaalta suurempi tiilikoko vie enemmän tilaa ja painaa enemmän, joten se pitäisi ottaa jo suunnittelun aikaisessa vaiheessa huomioon. [43.]

Koetko rakennuksen tietomallin käytön hyödylliseksi taloteknisten läpivientien toteuttamisessa kevyissä rakenteissa? Jos koet, niin miten? - KAIKKI

Suurin osa haastatelluista koki rakennuksen tietomallin käytön hyödylliseksi läpivientien toteuttamisessa kevyissä rakenteissa. Hyvinä puolina todettiin määrälaskenta ja törmäystarkastelu, hahmottamiskyvyn parantaminen ja karkea mitaaminen. Hahmottamiskyvyn ja sitä kautta suunnitelmien tarkastelun koettiin parantuvan, koska tietomallissa on kaikki suunnitelmat yhdessä visuaalisessa paketissa. Haasteina todettiin mittojen epävarmuus ja se, että kaikkea ei mallineta tai ne mallinetaan vain suuntaa antavana, jolloin jotain oleellista voi jäädä huomioimatta. [37; 38; 39; 40; 41; 42; 43.]

Määrälaskenta ja törmäystarkastelu helpottuu käytettäessä tietomallia työkaluna taloteknisten läpivientien toteuttamisessa. Läpivientejä ei mallineta omina objekteinaan, mutta määrät voidaan saada laskettua suorittamalla törmäystarkastelua. Törmäystarkastelu onnistuu tietomallissa havaitsemalla kohdat, joissa putki törmää seinään, ja näistä törmäyksistä saadaan törmäyskohtien määrät, törmäävien putkien ja seinien tiedot ja kohdat selville. Kun tarkat määrät ovat tiedossa, kustannushallinta ja toteuman ja laskutuksen seuranta muuttuu sujuvammaksi. [38.]

Miten koet rakennusmittauksen kehittyvän tulevaisuudessa talotekniikan osalta? - MH

Yleisesti tietomallin käyttö voi kehittyä suuremmaksi ja paremmaksi osaksi rakennusmittausta talotekniikan osalta. Talotekniikka on hyvin suuri kokonaisuus, ja tietomallin käyttö auttaa siinä jo nykyisessä muodossaan. Tietomallipohjainen rakennusmittaus voi kehittyä käytännöllisempään muotoon ja piiloon jäävien rakenteiden dokumentointi, kuten laserkeilaus voi lisääntyä. [37.]

Koetko taloteknisten läpivientien mallintamisen omina objekteinaan kevyissä rakenteissa mahdolliseksi? - VDC

Taloteknisten läpivientien mallintaminen omina objekteinaan on mahdollista, mutta se vaatisi huomattavasti järjestelyjä. Täytyisi selvittää kuka läpivientiobjektit mallintaa, millaisina ne mallinnetaan ja kuinka paljon ja mitä tietoa läpivientiobjektien täytyisi sisältää. Muutosten hallinta voisi olla haastavaa, koska jos läpivietävän putken sijainti, koko tai muita attribuutteja muutetaan, on myös läpivientiobjektin samat tiedot muutettava vastaavaksi. [38.]

Miksi luonnossa pyöreät objektit, kuten putket mallinnetaan segmentoituina? Olisiko mahdollista mallintaa niitä pyöreinä ja kiinteinä objekteina? - VDC

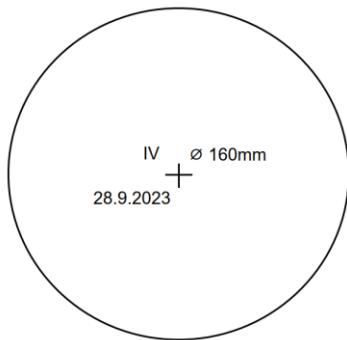
Pyöreät objektit mallinnetaan segmentoituina, koska tietomalleja käsittelevien koneiden laskutehot asettavat rajoitteita. Jos kaikki putket mallinnettaisiin pyöreinä, malli ei toimisi riittävän sulavasti, vaan se alkaisi huomattavasti tökkimään. Pyöreänä mallintaminen tarkoittaisi tietojen lisäämistä, mikä taas johtaisi tiedoston koon kasvamiseen. Pyöreänä mallintaminen on siis käytännössä mahdollista, mutta edellä mainittujen syiden takia se ei ole kannattavaa. [38.]

6 Johtopäätökset

6.1 Läpivientireikien toteuttaminen

6.1.1 Siluettimenetelmä

Yksi vaihtoehto läpivientien toteuttamiseen on läpivientien tulostaminen luonnollisessa koossaan paperille tai lakanalle. Aluksi voitaisiin kartoittaa kaikki työmaalla toteutettavien läpivientireikien mahdolliset koot, jotta voitaisiin helpottaa tulosteiden tuotantonopeutta ja yleisesti toiminnan ripeyttä. Tämä paperi tai lakana kiinnitettäisiin rakenteeseen paikalleen valmiiksi merkityn läpiviennin keskikohdan mukaisesti, jolloin se toimisi siluettina toteutettavalle läpiviennille. Siluetti [kuva 33] saataisiin mitattua paikalleen muutamalla rakenteesta otetulla mitalla tai takymetrillä mittaamalla. Kyseessä oleva menetelmä vaatisi pohdintaa ja päätöksen siitä, kuka tai mikä taho tuottaisi nämä siluetit. Työmaalle on mahdollista hankkia tulostin, joka tulostaa suurikokoisia kuvia, ja jos siluetit päättäisiin tuottaa työmaalla, niihin voitaisiin vaikuttaa nopeammin virheiden, kuten väärän siluetin tulostamisen sattuessa. Toisaalta tulostustoiminnan ulkoistamisella säästettäisiin työmaan resursseja. Tämä menetelmä auttaisi varmistamaan läpivientireikien oikeat koot, vähentäisi työmaalla suoritettavaa työtä koska ei tarvitsisi piirtää käsin leikattavaa muotoa sekä lisäisi muutosjoustavuutta, koska siluetit ovat helposti poistettavissa, siirrettävissä ja muokattavissa.



Kuva 33. Esimerkki siluetista. Siluettiin merkittäisiin sen keskikohta, halkaisija, suunnitelman päivänmäärä ja minkä TATE-urakoitsijan läpivienti on kyseessä.

6.1.2 Valmisosamenetelmä

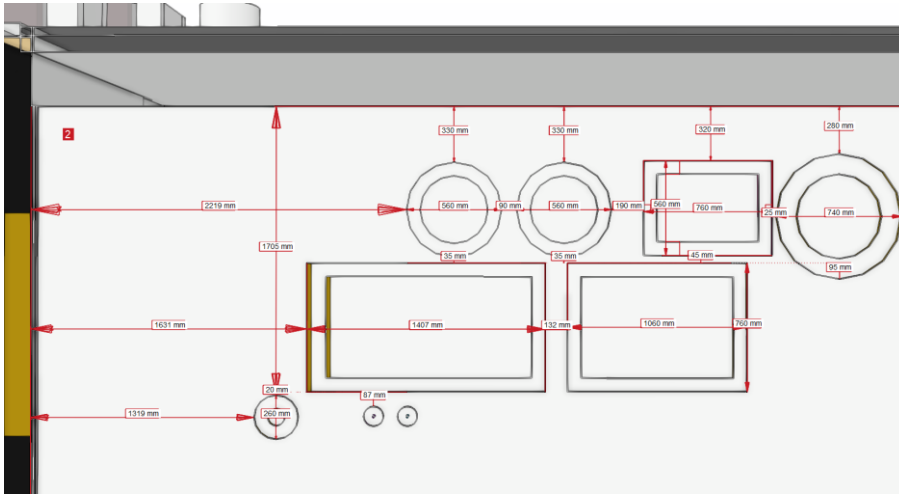
Toinen vaihtoehto on levyseinärakenteiden läpivientireikien toteuttaminen valmiiksi levyihin ennen asennusta, niin sanottuna valmisosamenetelmänä. Läpivientireiät voitaisiin toteuttaa joko työmaalla tai tehtaalla. Läpivientireikien toteuttaminen työmaalla ennen levyjen asennusta tekisi läpivientireikien sijaintien hahmottamisesta työmaalla haastavampaa, koska tällä tavalla ei voitaisi ottaa mittoja suoraan valmiista rakenteesta, vaan ne täytyisi ottaa levyistä. Lisäksi työmaan logistiikkaan ja suunnitteluun aiheutuisi haasteita. Tiedyt levyt sopisivat vain tiettyihin paikkoihin, joten niiden tulisi olla suunniteltu hyvin yksilökohtaisesti sekä niiden pitäisi olla juuri oikeassa paikassa oikeaan aikaan. Toisaalta logistiikkaan liittyviä haasteita voisi helpottaa tekemällä reiät levyihin työmaalla lähellä asennettavaa sijaintia. Talotekniset reitit ovat alttiita muutoksille, joten järkevintä olisi tehdä reiät mahdollisimman lähellä läpivietävän talotekniikan asennusta, mutta kuitenkin siten, että läpivientireiät tehtäisiin yhdellä kerralla. Jos läpivientireikiä ei tehdä yhdellä kerralla, riskinä on asennustilan loppuminen kesken. Valmisosamenetelmä levyseinärakenteissa voisi olla käytännöllinen tilanteessa, jossa talotekniset reitit eivät olisi niin alttiita muutoksille. [41.]

Harkkorakenteissa käytetään jo valmiiksi jonkin verran valmisosamenetelmää. Tehdas valmistaa suoraan sellaisen läpivientikappaleen, jossa on otettu mahdolliset eristykset ja kittaukset huomioon. Haastatteluissa tämä menetelmä koettiin käytännölliseksi, joten sen käyttöä tulisi lisätä, jotta saataisiin parempi kuva sen hyödyntämisen tuloksista. [43.]

6.1.3 Tietomallipohjaiset mittaleikkaukset

Kolmas vaihtoehto läpivientireikien toteuttamiseen on tietomallista mittaleikkauksen toteuttaminen [kuva 34]. Tässä toimintatavassa laitettaisiin tarvittavat tietomallit päällekkäin, kuten ARK- ja LVI-mallit, ja merkittäisiin tietomalliin kaikki mahdolliset mitat ja etäisyydet läpivientirei'ille, ja otettaisiin esimerkiksi kuva-kaappaus kohteesta. Tällä tavalla jo kevyen rakenteen toteutuksen

suunnittelussa voitaisiin ottaa paremmin huomioon läpivientireiät, ja rakentaa levyseinärakenteen runko siten, etteivät läpivientireiät katkaisi sitä. [37.]



Kuva 34. Esimerkki tietomallista toteutetusta mittaleikkauksesta läpivientirei'istä. [37].

6.1.4 Työjärjestys

Työjärjestystä voitaisiin muuttaa siten, että rakennettaisiin kaikille levyväliseinille otsarakenteet ennen lopun väliseinän rakentamista. Yleensä otsarakenteita rakennetaan vain, kun kyseessä on jokin järjestelmäväliseinärakenne. Kun muutettaisiin työjärjestystä näin, saataisiin huomattavasti enemmän työskentelytilaa ja parannettaisiin työmaan logistiikkaa, kun huoneita ei olisi vielä eroteltu kokonaisilla väliseinillä. Taloteknisten läpivientien ja niiden läpivientireikien asentaminen tulisi selvemmäksi, kun näkyvyys parantuisi. [39.]

Toisaalta työjärjestyksen muuttaminen edellä kuvatun mukaiseksi aiheuttaisi muutoksia aikataulusuunnitteluun. Sähköasennusten toteuttaminen levyväliseinien sisään samanaikaisesti otsarakenteiden kanssa ei olisi mahdollista. Kun otsarakenteen jälkeen toteutetaan puuttuva väliseinärakenne, jää näiden kahden rakenteen väliin sauma. Sauman toteuttaminen laatuvaatimusten mukaisesti voi tuottaa vaikeuksia. [41.]

6.1.5 Läpivientireikien vastuu

Läpivientireikien vastuun voisi siirtää TATE-urakoitsijoille. Vastuun siirtäminen voisi kannustaa TATE-urakoitsijoita toteuttamaan läpivientireiät tarkemmin, koska siten he olisivat enemmän itse vastuussa urakkansa kokonaisvaltaisesta toteutuksesta. Toisaalta urakkarajat täytyy tuoda esille jo tarjouspyynnöissä, joten on hyvin mahdollista, että TATE-urakoitsijat eivät suostuisi tällaiseen menettelyyn, koska se voi mahdollisesti tuoda haasteita heidän näkökulmastaan työn toteutukseen. Pääurakoitsijan näkökulmasta tämä kuitenkin voisi olla järkevä vaihtoehto. [41; 42.]

6.1.6 Määrien hallinta

Vaikka kevyiden rakenteiden läpivientireikiä ei tavallisesti mallinneta omina objekteinaan, on määrälaskenta tietomallista silti mahdollista. Tämä onnistuu törmäyttämällä arkkitehtimallin väliseinät valittujen talotekniikkamallien kanssa. Törmäyksistä luodaan läpivientiobjektit, jolle kopioidaan seiniltä ja lävistäviltä kappaleilta halutut tiedot, kuten lävistävän kappaleen nimi ja halkaisija sekä seinän nimi ja sijainti. Luodut läpivientiobjektit voidaan listata ja objektien tietoja voidaan tarkastella eri tavoin. Tämä määrälaskentametodi kuitenkin vaatii sen, että lävistäville kappaleille ja seinille on syötetty tarvittavat tiedot, kuten palo-osastotiedot, rakennetyypit ja sijainnit. [38.]

6.1.7 Kevyiden rakenteiden tietomallipohjainen reikä- ja varaussuunnittelu

Tietomallipohjainen reikä- ja varaussuunnittelu kevyissä rakenteissa voisi tuoda mukanaan hyötyjä, jotka suurimmilta osin vastaisivat yleisesti rakennuksen tietomallin käytöstä syntyviä hyötyjä. Tietomallipohjainen reikä- ja varaussuunnittelu kevyissä rakenteissa voisi tukea suunnittelun ja rakentamisen laadun, tehokkuuden, turvallisuuden ja kestäväen kehityksen mukaisen rakennushankkeen toteutumista. Yleisesti tietomallin käyttäminen tuo helpotusta ratkaisujen toimivuuden, laajuuden ja kustannusten vertailuun.

Läpivientireikien mallintaminen kevyissä rakenteissa voisi tukea investointipäätöksiä. Määrälaskenta voisi helpottaa huomattavasti, kun toteutettavien läpivientireikien määrät voitaisiin laskea mallista hyvinkin vaivattomasti. Kun määrälaskennan taakka kevenisi, se voisi vaikuttaa heti positiivisesti myös eri ratkaisujen toimivuuden, laajuuden ja kustannusten vertailuun. Investointipäätökset helpottuvat siten, mitä nopeammin ja vaivattomammin määrät saadaan laskettua.

Tietomallipohjainen reikä- ja varaussuunnittelu kevyissä rakenteissa voisi havainnollistaa toteutettavien läpivientireikien suunnitelmia. Jos suunnitelmat voitaisiin tuoda helposti esitettävään visuaaliseen muotoon, niitä voisi olla helpompi ymmärtää ja tarkastella. Parempi havainnollistavuus kuin paperikuvissa voisi luoda myös sujuvampia mahdollisuuksia toteutettavuuden analysointiin, tiedonsiirtoon ja laadunvarmistukseen. Muutosten hallinta voisi parantua, kun tehdyt muutokset päivittyisivät automaattisesti kaikkiin tietomallista tulostettaviin kuviin.

6.2 Läpivientireikien paikalleen mittaaminen tietomallipohjaisesti

6.2.1 Edellytykset tietomallipohjaiselle rakennusmittaukselle

Tietomallipohjaisen rakennusmittauksen edellytykset pohjautuvat tämän insinööriyön kirjallisuuden tutkintaan, käytännön testiin ja haastatteluihin. Tietomallipohjaisen rakennusmittauksen perustana ovat ajan tasalla olevat toteutus suunnittelun tietomallit. Tietomallipohjaista rakennusmittausta suorittavan henkilön on oltava riittävän perehtynyt rakentamisen tietomalleihin, rakennusmittaukseen ja koulutettu käyttämään tietomalleja hyödyntävää takymetria. Mittauksessa käytettävä materiaali on valmistettava siten, että kaikki materiaali on yhteisessä suunnittelukoordinaatistossa. Lähtötiedot, eli kiintopisteet on oltava olemassa, ja niitä täytyy olla vähintään kolme kappaletta. Kiintopisteet ovat pysyvästi ja yksikäsitteisesti määriteltyjä ja merkittyjä runkopisteitä. Kiintopisteet voivat olla tasokiinto-, korkeuskiinto- tai yhdistettyjä taso- ja korkeuskiintopisteitä, joista tunnetaan tasokoordinaatit sekä korkeus (X, Y ja Z). Jokainen

takymetri tarvitsee kiintopisteet, jotta laite ”tietää oman sijaintinsa”. Jos yksikin näistä edellytyksistä ei täyty, mittausta ei voida pitää tarkkana.

6.2.2 Toimintatavat

Tietomallipohjainen rakennusmittaus on potentiaalinen tapa mitata läpivientireiät paikalleen, mutta sen nykyinen muoto vaatii vielä kehitystä. Testissä käytetty takymetri oli helppokäyttöinen, mutta siihen liittyi paljon kehityskohtia. Käytetty pistetekniikka on toimiva, mutta sen voisi korvata paljon käytännöllisemmällä vaihtoehdolla. Koska tietomalliin ei ole määritetty läpivientirei’ille omia objektejaan eikä läpivietäville putkille keskikohtia, monien mittapisteiden ja niitä yhdistävien viivojen luonti on pakollista. Jos nämä objektit tai keskikohdat olisivat mallinnettu, paikalleen mittaaminen helpottuisi huomattavasti, kun mallista voitaisiin vain yksinkertaisesti valita laitteen asemoinnin jälkeen mitattava keskipiste, ja takymetri osoittaisi merkittävän läpiviennin kohdan. Voitaisiin siis käytännössä vähentää esivalmistelun ja työmaalla prosessoinnin määrää. Lisäksi tablettitietokoneella tietomallin käyttö ei ollut sulavaa, vaikka näkyvistä oli poistettu kaikki ylimääräiset mallin osat, ja tablettitietokoneen kosketuskontrollit olivat ajoittain epätarkkoja. Tätä voitaisiin parantaa optimoimalla käytettävä sovellus tablettitietokoneelle paremmin. Lisäksi kosketuskontrolleja voitaisiin parantaa, ja toimittaa kosketuskynä niiden käyttöön.

Käytetyn laitteiston oikeaoppinen käyttö ei onnistu pelkällä perehdytyksellä laitteen käyttöön. Kuka tahansa voi oppia suhteellisen ripeästi laitteen käytön, mutta se ei tarkoita, että hän ymmärtäisi riittävästi sen, mitä tekee, miten saatua tietoa sovelletaan ja milloin on mahdollisesti tapahtunut virhe. Vaikka laite kertoisi mittauksen onnistuneen, siihen ei voi luottaa sokeasti. Laitteistoa käyttävän henkilön on oltava riittävän perehtynyt rakennuksen tietomalliin ja rakennusmittaukseen.

Läpivientireikien mitattua sijaintia ei ole mahdollista todistaa käytetyillä tutkimusmenetelmillä täysin suunnitelmien mukaiseksi, koska on hyvin mahdollista, että läpäistävä rakenne ei ole täysin suunnitelmien mukaisella sijainnillaan. On

täysin oletettavaa, että mittausvirheitä esiintyy rakennustyömaalla, johtuen yleisimmin elementtirakentamisen valmistus- ja asennustoleranssien ylittymisestä. Kun mittausvirheitä syntyy jossain kohtaa rakennusta, se vaikuttaa muidenkin rakenteiden sijainteihin. Kaikista varmin ratkaisu on läpivientireikien paikalleen mittaaminen läpäistävän rakenteen mukaisesti, eli tarkistamalla takymetrin asemoi-
mointi siten, että tarkistetaan läpäistävän rakenteen toteutuneen sijainnin ero tietomallin sijaintiin.

Tietomallipohjaisen rakennusmittauksen edellytysten ollessa saavutettuja luodaan mahdollisuus sen etujen hyödyntämiselle. Näitä etuja ovat tietomallin kyky tuoda kaikki suunnitelmat yhteen visuaaliseen muotoon, helppokäyttöisyys, hahmotuskyvyn lisääminen ja läpivientireikien paikalleen mittaaminen kerralla kuntoon.

6.2.3 Tietomalli

Jotta tietomallipohjainen läpivientireikien rakennusmittaus olisi käytännöllisempää, tulisi tietomallista olla mahdollista hakea läpäistävän putken tai lävistettävän kevyen rakenteen läpivientireiän keskikohta ilman tämän insinööriyön testissä käytettyä pistetekniikkaa tai CSV-tiedoston luomista. Käyttämällä kyseistä pistetekniikkaa tai CSV-tiedostoa mittaustyö on altis ihmiskäden aiheuttamille virheille, kun joko käsin valitaan tietomallinnetusta putkesta vaadittavat pisteet tai käsin syötetään mitattavien pisteiden koordinaatit. Lisäksi nämä menetelmät vievät huomattavasti enemmän aikaa kuin valmiiksi mallinnettujen keskipisteiden valinta. Keskipisteiden tunnistus voisi tapahtua automaattisesti käsin valitsemisen ja syöttämisen sijaan.

Toinen vaihtoehto läpivientireiän putken keskikohtaan valitsemiseen olisi Trimble Access -sovellusta. Trimble Access -sovellus oli tämän insinööriyön kirjoittamisen aikana ainoa mittausohjelma, joka pystyi tulkitsemaan IFC-mallin segmentoidut sylinterit pyöreinä, ja poimimaan niistä keskilinjan tai -pisteet. Tässä menetelmässä tulisi kuitenkin ottaa huomioon se, että tietomalleja käsittelevät laitteet asettavat laskutehonsa mukaan rajoitteita. Yksinkertaisesti tiedostoista

voisi tulla nykyisille laitteistoille liian raskaita, jotta niitä voitaisiin käyttää sulavasti ohjelmistossa. Toisaalta ohjelmistot ja laitteet kehittyvät, mikä voisi poistaa tämän ongelman. [32; 38.]

7 Yhteenveto

Tässä insinööriyössä selvitettiin mahdollisia vaihtoehtoisia menetelmiä taloteknisten läpivientien toteuttamiseen kevyissä rakenteissa pääurakoitsijan näkökulmasta. Lisäksi selvitettiin tietomallipohjaisen rakennusmittauksen mahdollisia käyttötapauksia taloteknisten läpivientien toteuttamisessa. Insinööriyössä onnistuttiin kartoittamaan kaksi vaihtoehtoista työmenetelmää sekä ehdotuksia läpivientien työjärjestykseen, urakkarajoihin ja määrien hallintaan kevyissä rakenteissa, sekä vaatimuksia, kehitysehdotuksia ja työmenetelmiä tietomallipohjaiselle rakennusmittaukselle.

Tämän insinööriyön tutkimuksen perusteella voidaan todeta, että tietomallipohjainen rakennusmittaus on potentiaalinen työmenetelmä osana kevyiden rakenteiden taloteknisten läpivientien toteutusta, mutta sen nykyinen muoto vaatii vielä jatkokehitystä- ja testaamista. Käytännön testin perusteella tietomallipohjaisen rakennusmittauksen ongelmat eivät ole sen tarkkuudessa, vaan laitteiston ja ohjelmiston käytettävyydessä. Lisäksi vielä on pohdittava ja selvitettävä ne rakennushankkeiden osapuolet, jotka mittaisivat tätä työmenetelmää käyttäen läpivientireiät paikoilleen. On kuitenkin otettava huomioon, että suhteellisen lyhyen perehdytyksen jälkeen onnistuttiin oppimaan laitteiston käyttö ja mittaamaan paikalleen kaksi läpivientireikää, joten kun edellä mainittuihin ongelmakohtiin kehitetään ratkaisuja, kyseessä on mahdollinen tulevaisuuden työmenetelmä.

Tutkimusta voitaisiin jatkaa kartoitettujen vaihtoehtoisten työmenetelmien, työjärjestyksen, urakkarajojen ja määrälaskennan käytännön testaamisella, ja sen kautta niiden jatkokehityksellä. Rakennuksen tietomallien osalta voitaisiin tutkia lisää mahdollisia keinoja läpivientireikien keskikohtien määrittämiseksi ja määrälaskentaan. Tietomallipohjaista rakennusmittausta voitaisiin testata kohderyhmällä, eli työryhmien noikkahenkilöiden käytössä. Harvempi uusi työmenetelmä on heti ensiaskelillaan kaikista käytännöllisin ja tehokkain ratkaisu. Uudet ja innovatiiviset työmenetelmät vaativat pidemmän kaavan testaamista ja opettelua, jotta niiden todellinen potentiaali voidaan valjastaa käyttöön.

Insinööriä tehtäessä tuli ilmi, että taloteknisistä läpivienneistä on suhteellisen hankalaa löytää tietoa. Tietoa on siis olemassa, mutta se on hyvin hajanaista ja jopa vuosikymmeniä sitten julkaistua. Taloteknisten läpivientien toteuttamisen selkeyttämiseksi olisi kannattavaa luoda jonkinlainen opas, kuten RT-kortti, jossa olisi esitetty kaikki olennainen tieto. Insinööriä tekemisen aikana ei ollut määritelty toleransseja koskien taloteknisiä läpivientejä. Tärkeää olisi määrittää taloteknisille läpivienneille toleranssit, eli sallitut sijaintipoikkeamat, jotta paikalleenmittausta ja laadunvarmistusta voitaisiin parantaa.

Lähteet

- 1 Tietomallipohjainen rakennusmittaus -täydennyskoulutus. 2020. Verkkoaineisto. Metropolia ammattikorkeakoulu. <<https://www.metropolia.fi/fi/opiskelu-metropoliassa/osaamisen-taydentaminen/taydennyskoulutus/tietomallipohjainen-rakennusmittaus>>. Luettu 18.10.2023.
- 2 Lipsanen, Niko. 2020. Tietomallipohjainen reikä- ja varaustierron ohjeistus. Opinnäytetyö. Karelia-ammattikorkeakoulu. Theseus-tietokanta.
- 3 Lukkala, Saku. 2010. Talotekniset läpiviennit. Insinööriyö. Metropolia Ammattikorkeakoulu. Theseus-tietokanta.
- 4 Harju-Säntti, Hanna; Laine, Enni; Kauniskangas, Kari; Lepistö, Juho; Sepänen, Olli; Heiskanen, Aarni. 2023. Building 2030 -viikko 36/2023. Verkkoaineisto. Aalto-yliopisto. <<https://building2030viikko.com/>>. 7.9.2023. Katsottu 4.10.2023.
- 5 Markkanen, Niko. 2013. Palo-osastoivien seinien läpivientien teko- ja kustannusvertailu. Opinnäytetyö. Jyväskylän ammattikorkeakoulu. Theseus-tietokanta.
- 6 Putkien läpiviennit. 1994. LVI 12-10217. Rakennustieto.
- 7 Schlaich Jörg & Schlaich Mike. Lightweight structures. Verkkoaineisto. Schlaich Bergemann und Partner, Consulting Engineers, Stuttgart and Berlin, Germany. <https://educnet.enpc.fr/pluginfile.php/40723/mod_resource/content/0/LightweightStructures%20Schlaich.pdf>. Luettu 4.9.2023.
- 8 Ääneneristyksen parantamisella suuri vaikutus asuinviihtyvyyteen. 2018. Verkkoaineisto. Rakentaja.fi. <https://www.rakentaja.fi/artikkelit/10907/va-liseina_eristaminen_isover_saint_gobain.htm>. 25.6.2018. Luettu 14.9.2023.
- 9 Viialan yhteiskoulun viikkotiedote 37. 2022. Verkkoaineisto. NCC Suomi Oy. <<https://www.ncc.fi/projektit/viialan-yhtenaiskoulu-akaa/viikkotiedotteet/viikkotiedote-37/>>. Luettu 5.9.2023.
- 10 Merelä, Mikko. 2017. Alaslasketun katon rakentaminen. Verkkoaineisto. Timpurille talo -blogi. <<http://www.timpurilletalo.fi/2017/11/alaslasketun-katon-rakentaminen.html>>. 9.11.2017. Luettu 4.9.2023.

- 11 Klemettilä, Kasper. 2022. Sisäkattomateriaalien vaikutus akustiikkaan ja kustannuksiin. Opinnäytetyö. Oulun ammattikorkeakoulu. Theseus-tietokanta.
- 12 Märkätilan väliseinä Leca® EasyLex harkoista RL 05. Verkkoaineisto. Saint-Gobain Weber Oy Ab. <<https://www.fi.weber/sisapinnat/sisaseinien-tasoitusratkaisut/markatilan-valiseina-lecar-easylex-harkoista-rl-05>>. Luettu 4.9.2023.
- 13 Koski, Hannu. 2011. Rakentamisen tuotantotekniikka. Rakennustieto.
- 14 Talotekniikan eristykset asennusopas. 2019. Verkkoaineisto. Paroc Oy. <<https://www.paroc.fi/dokumentit-ja-tyokalut/asennusohjeet>>. Toukokuu 2019. Luettu 5.9.2023.
- 15 Palokatko-opas. 2019. Verkkoaineisto. Suomen Palokatkoyhdistys. <<https://palokatko-yhdistys.fi/pdf/Palokatko-opas-22052019.pdf>>. Luettu 6.9.2023.
- 16 Vesi- ja viemärikalusteiden asennus. 2004. RT 60-10816. Rakennustieto.
- 17 Putkistojen asennus. 2004. LVI 20-10348. Rakennustieto.
- 18 Sähköläpivientien äänieristäminen. 2015. ST 51.18.01. Sähkötieto.
- 19 Ilmanvaihtolaitosten paloturvallisuusopas, 9.8 Ilmanvaihtokanavien paloteknisten läpivientien erityistapauksia. 2022. Verkkoaineisto. Talotekniikkainfo. <<https://talotekniikkainfo.fi/ilmanvaihtolaitosten-paloturvallisuus-opas/98-ilmanvaihtokanavien-paloteknisten-lapivientien>>. 22.6.2022. Luettu 6.9.2023.
- 20 Holli, Niko. 2022. Rakenteisiin jälkikäteen tehtävien läpivientien seuranta-malli. Insinöörityö. Metropolia Ammattikorkeakoulu. Theseus-tietokanta.
- 21 Lam, Kalok. 2019. Punakynäpiirustukset mallinnuskohteessa. Insinöörityö. Metropolia Ammattikorkeakoulu. Theseus-tietokanta.
- 22 Ympäristöministeriön asetus rakennuksen ääniympäristöstä. 2017. Verkkoaineisto. Finlex. <<https://www.finlex.fi/fi/laki/alkup/2017/20170796>>. 24.11.2017. Luettu 27.9.2023.
- 23 Rakennushankkeen kustannushallinta. 2018. Rakennustieto.
- 24 Yleiset tietomallivaatimukset, osa 1, yleinen osuus. 2012. RT 10-11066. Rakennustieto.

- 25 Yleiset tietomallivaatimukset, osa 5, rakennesuunnittelu. 2012. RT 11070. Rakennustieto.
- 26 Rakennuksen tietomalli. 2023. Verkkoaineisto. Wikipedia. <https://fi.wikipedia.org/wiki/Rakennuksen_tietomalli>. 7.1.2023. Luettu 18.9.2023.
- 27 Trimble Ri-takymetrin esittely. 2023. Verkkoaineisto. BuildingPoint Finland. <<https://buildingpointfinland.fi/tuotteet/laitteet/trimble-ri/>>. Luettu 18.9.2023.
- 28 Anttila, Tuomas. 2023. Trimble Ri – Rakennusmittausta kaikille. Verkkoaineisto. BuildingPoint Finland. <<https://buildingpointfinland.fi/trimble-ri-rakennusmittausta-kaikille/>>. 19.1.2023. Luettu 18.9.2023.
- 29 We Landin kotisivut. Verkkoaineisto. We Land. <https://welandruoholahti.fi/?gclid=EAlalQobChMI-IDC0KTegQMvd1iRBR2Hugf-zEAAYASAAEgKzFPD_BwE>. Luettu 19.9.2023.
- 30 NCC Suomessa, NCC:n kotisivut. Verkkoaineisto. NCC Suomi Oy. <<https://www.ncc.fi/tietoa-nccsta/ncc-konserni/ncc-suomessa/>>. Luettu 4.9.2023.
- 31 Mitä VDC tarkoittaa, NCC:n kotisivut. Verkkoaineisto. NCC Suomi Oy. <<https://www.ncc.fi/tarjontamme/nain-toimimme/digitaalinen-rakentaminen/vdc-ja-virtuaaliodellisuus/mita-vdc-tarkoittaa/>>. Luettu 4.9.2023.
- 32 Tuki- ja koulutuspäällikkö, Geotrim Oy, Vantaa. Sähköposti 29.10.2023.
- 33 Ekman, Veikko. 2010. Rakennusmittaukset, niiden laatu ja dokumentointi. Opinnäytetyö. Saimaan ammattikorkeakoulu. Theseus-tietokanta.
- 34 Ympäristöministeriön asetus rakennusten kosteusteknisestä toimivuudesta. 2017. Verkkoaineisto. Finlex. <<https://www.finlex.fi/fi/laki/alkup/2017/20170782>>. 24.11.2017. Luettu 27.9.2023.
- 35 Gyproc asennuskirja, ohjeet kevytrakentamiseen. 2022. Verkkoaineisto. Saint-Gobain Weber Oy Ab. <<https://www.gyproc.fi/documents/asennus-ohje/gyproc-asennuskirja-2022.pdf>>. Syyskuu 2022. Luettu 3.10.2023.
- 36 Suomen rakentamismääräyskokoelma. Verkkoaineisto. Ympäristöministeriö. <<https://ym.fi/rakentamismaaraykset>>. Luettu 27.9.2023.
- 37 Mittahenkilö, NCC Suomi Oy, Helsinki. Haastattelu 3.10.2023.
- 38 VDC-asiantuntija, NCC Suomi Oy, Helsinki. Haastattelu 3.10.2023.

- 39 Työnjohtaja (ilmanvaihto), Boctok Oy, Kerava. Haastattelu 5.10.2023.
- 40 Työnjohtaja (LVIAS), NCC Suomi Oy, Helsinki. Haastattelu 6.10.2023.
- 41 Työnjohtaja (levyväliseinät), NCC Suomi Oy, Helsinki. Haastattelu 6.10.2023.
- 42 TATE-asiantuntija, NCC Suomi Oy, Helsinki. Haastattelu 6.10.2023.
- 43 Työnjohtaja (harkk väliseinät), NCC Suomi Oy, Helsinki. Haastattelu 9.10.2023.
- 44 Reikävaraus ja palokatkosuunnittelu – käyttötapauksen kommentointikierros on alkanut. 2023. Verkkoaineisto. buildingSMART Finland.
<<https://www.buildingsmart.fi/blog/rytv-hankeohjelma-9/reikavaraus-ja-palokatkosuunnittelu-kayttotapauksen-komentointikierros-on-alkanut-491>>. Luettu 19.10.2023.

Liite 1

Trimble FieldLink-sovelluksesta tulostettu päivittäisen merkinnän yhteenveto.

9/27/23, 12:31 PM

Päivittäisen merkinnän yhteenveto



Päivittäisen merkinnän yhteenveto

keskiviikko 27. syyskuuta 2023

NCC Aleksip lopputyö

Merkintätyö 1

Merkintä valmis keskiviikko 27. syyskuuta 2023

Kojeasema - 1

Kojeaseman aik : 27.9.2023 12.04.39

Kojeaseman tyyppi : Anywhere

Kojeen sijainti : N: 91,219 m , E: 68,065 m , Z: 52,759 m

Kojeen sijaintitarkkuus : NE: 0,002 m , Z: 0,000 m

Kontrollipiste	N:	E:	Z:	Laatu	Etäisyys kojeesta
PR1304	82,987 m	65,432 m	53,181 m	Hyvä	8,640 m
pr1307	92,697 m	62,985 m	53,149 m	Hyvä	5,290 m
Ta1301	87,656 m	100,448 m	53,223 m	Erinomainen	32,577 m

Merkintämittaus 1

Ensimmäinen merkintäpiste	115, 12.06
Viimeinen merkintäpiste	116, 12.10
Merkittyjen pisteiden lukumäärä	2
Merkinnän aika	0 tuntia, 5 minuuttia
Pisteitä tunnissa	24

Yhteenveto

Merkityt pisteet yhteensä	2
Kokonaismerkintäaika	0 tuntia, 5 minuuttia
Tunnissa merkityt pisteet	24
Pisteet vaakatoleranssissa	2, 100 %
Pisteet korkeustoleranssissa	2, 100 %

Tauot, jotka ovat vähintään 15 minuuttia, jätetään pois kokonaismerkintäajasta

Pisteen nimi	Kojeasema	Kuvaus	dH	dV
115	Setup1		0,000 m	0,000 m
116	Setup1		0,000 m	0,000 m