Aalto-yliopisto
Aalto-universitetet
Aalto University

Rakennustekniikan maisteriohjelma

Päivittäisjohtaminen poikkeamien hallinnan keinona: talotekniset esivalmisteet putkiremonttityömaalla

Shishir Doha

Diplomityö
2025

Aalto-yliopisto
Aalto-universitetet
Aalto University

Copyright ©2025 Shishir Doha

Aalto-yliopisto
Aalto-universitetet
Aalto University

Tekijä Shishir Doha

Työn nimi Päivittäisjohtaminen poikkeamien hallinnan keinona: talotekniset esivalmisteet putkiremonttityömaalla

Koulutusohjelma Rakennustekniikan maisteriohjelma

Pääaine Rakennustekniikka

Vastuuopettaja/valvoja Prof. Olli Seppänen

Työn ohjaaja(t) DI Tuomas Valkonen

Yhteistyötaho Fira Rakennus Oy

Päivämäärä 26.09.2025 **Sivumäärä** 53+7 **Kieli** suomi

Tiivistelmä

Esivalmisteista aiheutuvat toleranssipoikkeamat ovat merkittävä poikkeamien lähde. Koska ne voivat aiheuttaa huomattavia haittoja, näiden poikkeamien ehkäiseminen edellyttää toleranssien hallintaa, johon voidaan hyödyntää erilaisia työkaluja ja menetelmiä. Vaikka erilaisia menetelmiä on käytettävissä, alalta puuttuu usein systemaattinen ja käytännönläheinen. Viestintään perustuva päivittäisjohtaminen voi tarjota ratkaisun, mutta sen soveltamista taloteknisten esivalmisteiden toleranssihallintaan ei ole systemaattisesti tutkittu, eikä sen vaikutusta tunneta laajemmin.

Tämän diplomityön tavoitteena oli arvioida päivittäisjohtamisen toimintatapoja ja niiden vaikutusta toleranssipoikkeamien hallintaan, erityisesti sitä, kuinka hyvin päivittäisjohtamisen avulla toleranssipoikkeamat raportoidaan ja niiden ratkaisemista tuetaan.

Tutkimus toteutettiin osallistumalla päivittäisiin palavereihin ja tekemällä havaintoja työmaalla. Palavereissa seurattiin kulkua ja tehtiin muistiinpanoja esimerkiksi työpäivän suunnitelmista. Työmaalla suoritettiin myös esivalmisteiden mittauksia, poikkeamien dokumentointia valokuvin sekä tarvittaessa rakennusprosessin osapuolten haastatteluja.

Päivittäisjohtamisessa keskeisenä elementtinä toimiva viestintä mahdollisti poikkeamien saattamisen tiedoksi. Vaikka poikkeamat dokumentoitiin säännöllisesti, niille ei tehty juurisyyanalyysiä. Tutkimus osoitti, että päivittäisjohtamista voidaan hyödyntää tehokkaana toleranssinhallinnan keinona vain, jos kustakin poikkeamasta tehdään systemaattisesti yksityiskohtainen juurisyyanalyysi, joka samalla raportoidaan. Raportointi tukee organisaation oppimisen. Analyysi on toteutettava siten, että juurisyyt luokitellaan systemaattisesti, jolloin niiden esiintymistiheys voidaan kartoittaa ja varmistaa, että juurisyiden ratkaisemiseksi tehdyt toimenpiteet ohjautuvat oikealle taholle ja ovat riittävän tehokkaita estämään toleranssipoikkeamien toistumisen.

Avainsanat päivittäisjohtaminen, toleranssi, toleranssipoikkeama, hallintakeinot, esivalmisteet, juurisyyanalyysi

Aalto-yliopisto
Aalto-universitetet
Aalto University

Author Shishir Doha

Title of thesis Daily management as a method for managing deviations: prefabricated building systems units in pipe renovation site

Programme Master's Programme in Building Technology

Major Building Technology

Thesis supervisor Prof. Olli Seppänen

Thesis advisor(s) M.Sc Tuomas Valkonen

Collaborative partner Fira Rakennus Oy

Date 26.09.2025 **Number of pages** 53+7 **Language** Finnish

Abstract

Tolerance deviations arising from prefabricated elements are a major source of deviations. Since these deviations can have serious consequences, preventing them requires effective tolerance management, supported by appropriate tools and methods. Despite the availability of different approaches, the field often lacks a systematic and practical framework. Communication-based daily management may provide a potential solution; however, its application to tolerance management in prefabricated building systems units has not been systematically studied, and its broader impact remains largely unknown.

This thesis sets out to examine daily management practices and their role in handling tolerance deviations, with a particular focus on how well daily management supports the reporting of these deviations and the processes for resolving them.

The study was conducted through participation in daily meetings and on-site observations. During the meetings, the progress of work was monitored, and notes were taken on, for example, the day's work plans. On the construction site, measurements of prefabricated elements were carried out, deviations were documented with photographs, and, when necessary, interviews were conducted with the various stakeholders involved in the construction process.

Communication, a key element of daily management, made it possible to bring deviations to attention. While deviations were documented regularly, no root cause analysis was conducted. The study found that daily management can be an effective tool for managing tolerances only if each deviation undergoes a systematic, detailed root cause analysis that is also reported. Reporting supports organizational learning. The analysis should classify root causes systematically, enabling their frequency to be tracked and ensuring that corrective actions are directed to the right parties and are effective in preventing the recurrence of tolerance deviations.

Avainsanat daily management, tolerance, tolerance deviation, management methods, prefabricated elements, root cause analysis

Sisällysluettelo

1 Johdanto 1
2 Kirjallisuuskatsaus 3
2.1 Toleranssi käsitteenä ja toleranssin vaikutus 3
2.1.1 Toleranssin määrittely 3
2.1.2 Esivalmisteet ja niiden toleranssi 4
2.2 Toleranssipoikkeama ja sen vaikutus 4
2.2.1 Toleranssipoikkeamiin johtavat tekijät 5
2.3 Toleranssien hallintamenetelmät rakentamisessa 6
2.3.1 Ennakoivat menetelmät 7
2.3.2 Reaktiiviset menetelmät 9
2.3.3 Viestinnän rooli toleranssien hallinnassa 11
2.4 Päivittäisjohtaminen 12
2.4.1 Päivittäisjohtamisen määritelmä 12
2.4.2 Päivittäisjohtamisen hyödyt 13
2.4.3 Päivittäisjohtaminen toleranssihallinnassa 14
2.4.4 Poikkeamien raportointi päivittäisjohtamisessa 15
3 Menetelmät 16
3.1 Tutkimuksen tausta 16
3.2 Tutkittava kohde 16
3.3 Tutkimusmenetelmät 16
3.4 Aikataulu 18
4 Tulokset 20
4.1 Yhteenveto tuloksista 20
4.2 Ensimmäisen päivän havainnot 23
4.2.1 Aamupalaverissa esiintyneet poikkeamat 23
4.2.2 Työmaakierroksen havainnot 23
4.2.3 Työnjohtopalaverissa käsitellyt poikkeamat 24
4.3 Toisen päivän havainnot 24
4.3.1 Aamupalaverissa esiintyneet poikkeamat 24
4.3.2 Työmaakierroksen havainnot 24
4.3.3 Työmaakierroksen havainnot 26
4.4 Kolmannen päivän havainnot 27

4.4.1 Aamupalaverissa esiintyneet poikkeamat 27
4.4.2 Työmaakierroksen havainnot 28
4.4.3 Työnjohtopalaverissa käsitellyt poikkeamat 30
4.5 Neljännen päivän havainnot 31
4.5.1 Työmaakierroksen havainnot 31
4.5.2 Työnjohtopalaverissa käsitellyt poikkeamat 34
4.6 Viidennen päivän havainnot 35
4.6.1 Aamupalaverissa esiintyneet poikkeamat 35
4.6.2 Työmaakierroksen havainnot 35
4.6.3 Työnjohtopalaverissa käsitellyt poikkeamat 36
4.7 Kuudennen päivän havainnot 37
4.7.1 Aamupalaverissa esiintyneet poikkeamat 37
4.7.2 Työmaakierroksen havainnot 37
4.8 Seitsemännen päivän havainnot 39
4.8.1 Aamupalaverissa esiintyneet poikkeamat 39
4.8.2 Työmaakierroksen havainnot 39
4.8.3 Työnjohtopalaverissa käsitellyt poikkeamat 41
4.9 Kahdeksannen päivän havainnot 41
4.9.1 Aamupalaverissa esiintyneet poikkeamat 41
4.9.2 Työmaakierroksen havainnot 41
4.9.3 Työnjohtopalaverissa käsitellyt poikkeamat 43
4.10 Yhdeksännen päivän havainnot 43
4.10.1 Työmaakierroksen havainnot 43
4.10.2 Työnjohtopalaverissa käsitellyt poikkeamat 44
4.11 Viimeisen päivän havainnot 45
4.11.1 Aamupalaverissa esiintyneet poikkeamat 45
4.11.2 Työnjohtopalaverissa käsitellyt poikkeamat 45
5 Pohdinta 46
5.1 Päivittäisjohtamisen toteutus 46
5.2 Poikkeamien raportoinnissa esiintyneet heikkoudet 47
5.3 Esivalmisteisiin liittyvät poikkeamat 48
5.4 Tutkimustulosten luotettavuus ja yleistettävyys 49
5.5 Kehitysehdotuksia 50

6 Yhteenveto/Johtopäätökset 51
Lähteet 54

1 Johdanto

Rakennusprosessissa toleranssit eli sallitut vaihteluvälit määritellyissä mitoissa ja sijainneissa ovat välttämättömiä rakenteen eheyden, toimintakyvyn ja yhteensopivuuden varmistamiseksi (Milberg & Tommelein, 2019). Niiden noudattaminen on olennaista rakennuksen vakauden ja turvallisuuden kannalta, sillä poikkeamat voivat aiheuttaa toleranssipoikkeamia, jotka ratkaisemattomina heikentävät kriittisiä tekijöitä, kuten kestävyyttä ja energiatehokkuutta, sekä lisäävät kustannuksia, viivästyksiä ja materiaalihukkaa (Talebi, 2019; Berg & Holicky, 1989; British Standards Institution, 1990; American Concrete Institute, 2014).

Koska toleranssipoikkeamat voivat aiheuttaa merkittävää haittaa, niitä on hallittava. Rakentamisessa tämä tarkoittaa erilaisten työkalujen ja menetelmien hyödyntämistä, jotta toleranssipoikkeamilta vältyttäisiin (Talebi ym. 2020). Vaikka toleranssit ovat keskeisiä, alalta puuttuu usein systemaattinen ja käytännönläheinen hallintakeino (Milberg & Tommelein, 2003). Yksi mahdollinen ratkaisu on päivittäisjohtaminen, joka tarkoittaa rakennustiimin lyhyitä palavereja työn etenemisen, tavoitteiden ja aikataulun seuraamiseksi sekä poikkeamien ratkaisemiseksi ennen kuin ne vaarantavat tavoitteiden saavuttamisen (Lean Construction Institute (LCI), 2023). Päivittäisjohtaminen tukee tehokasta viestintää, jonka avulla kaikki osapuolet pysyvät ajan tasalla, ja monia toleranssipoikkeamia voidaan ehkäistä jakamalla tiedot ajoissa jo ennen rakentamisen aloittamista (Hofacker ym. 2010; Valkonen ym. 2024; Talebi ym. 2020).

Koska päivittäisjohtamista taloteknisten esivalmisteiden toleranssihallintakeinona ei ole aiemmin systemaattisesti tutkittu, eikä sen vaikutusta toleranssien hallintaan tunneta, tässä diplomityössä sitä tarkastellaan. Diplomityössä selvitetään päivittäisjohtamisen tehokkuutta toleranssihallinnan näkökulmasta seurannan avulla.

Diplomityön tavoitteena on dokumentoida ja arvioida päivittäisjohtamisen tehokkuutta toleranssipoikkeamien raportoinnissa ja ratkaisemisessa. Lisäksi tavoitteena on tunnistaa puutteet, muodostaa kokonaiskuva päivittäisistä poikkeamakohdista ja niiden ilmoittamisen tasosta sekä selvittää asentajien raportoimatta jääneet korjaustoimenpiteet. Työssä arvioidaan myös, kuinka hyvin päivittäisjohtaminen mahdollistaa toleranssipoikkeamien juurisyiden ratkaisemisen, sekä tarkastellaan toteumatiedon kertymistä ja siinä ilmeneviä puutteita.

Tutkimuksella vastataan seuraaviin kolmeen tutkimuskysymykseen:

1. Miten päivittäisjohtaminen on toteutettu?
2. Mikä osuus havaituista poikkeamista raportoidaan jollain systemaattisella tavalla?
3. Miten raportoitujen poikkeamien ratkaisu ja poikkeamista oppiminen on toteutettu?

Tutkimus rajataan päivittäisjohtamisen palavereihin sekä taloteknisten esivalmisteiden asennuksiin liittyvien toleranssipoikkeamien hallintaan. Tarkastelun kohteena on erityisesti se, miten toleranssipoikkeamat tuodaan esille, kirjataan ja käsitellään päivittäisjohtamisen prosessissa sekä millaisia ratkaisuja niihin esitetään ja toteutetaan. Lisäksi selvitetään, opitaanko työmaalla havaituista virheistä ja muuttuuko toimintatapa siten, että vastaavilta poikkeamilta voidaan jatkossa välttyä.

Tutkielma jakautuu kolmeen osaan. Ensimmäisessä osassa tehdään kirjallisuuskatsaus, jossa tutustutaan toleranssin käsitteeseen, tarkastellaan toleranssipoikkeamia ja niiden hallintakeinoja sekä perehdytään tarkemmin päivittäisjohtamiseen käsitteenä, sen hyötyihin ja soveltuvuuteen toleranssihallintakeinona. Kirjallisuuskatsauksen jälkeen käsitellään tutkimuksen tausta, tutkimusmenetelmät, tutkimuskohde sekä tutkimusaikataulu. Kolmannessa osassa esitetään tutkimustulokset. Lopuksi tehdään pohdinta omista havainnoista, verrataan niitä aiempaan kirjallisuuteen ja esitetään tutkimustuloksista tehdyt johtopäätökset.

2 Kirjallisuuskatsaus

2.1 Toleranssi käsitteenä ja toleranssin vaikutus

Toleranssi tarkoittaa sallittua vaihteluväliä määritellyssä mitassa tai sijainnissa, joka ei vaikuta rakenteelliseen eheyteen, toimintakykyyn tai viereisten osien yhteensopivuuteen (Milberg & Tommelein, 2019). Toleranssien yhteensopivuus tarkoittaa, että kunkin ulottuvuuden toleranssivyöhykettä voidaan käyttää täysimääräisesti vaikuttamatta muiden ulottuvuuksien toleranssivyöhykkeisiin, ja että kaikki toleranssit voidaan tuottaa käytettävissä olevilla koneilla (Sfantsikopoulos, 1993).

Toleranssit varmistavat, että rakennettu rakennus toimii suunnitelman mukaisesti, sillä mitta- ja geometriset vaihtelut voivat heikentää toimivuutta. Toleranssien käytön tavoitteena on usein löytää optimaalinen tasapaino kustannusten, laadun ja asiakastyytyväisyyden välillä (Creveling, 1997). Toleranssien noudattaminen on myös erittäin tärkeää rakenteen vakauden varmistamiseksi. Poikkeamat voivat lisätä rakenteeseen kohdistuvaa rasitusta, mikä saattaa johtaa vaurioihin tai jopa rakenteen romahtamiseen kuormituksen vaikutuksesta (Talebi, 2019).

2.1.1 Toleranssin määrittely

Toleranssit määritellään tuotteen suunnittelussa arvoiksi, jotka kuvaavat suunnittelutavoitteita. Niiden avulla voidaan myös arvioida, sopiiko valmistettu tuote käyttöön (Milberg & Tommelein, 2019).

Rakennesuunnittelijat määrittelevät toleranssit kullekin rakennusprojektin tuotteelle (Milberg & Tommelein, 2019). Suunnittelijat määrittelevät toleransseja usein aiemman kokemuksen ja käytännön perusteella, hyödyntäen eri määräysten ja standardien tarjoamia suosituksia ja vertailuarvoja (Shahtaheri ym. 2017). Suunnittelijat voivat myös määritellä hankekohtaisia toleranssivaatimuksia (Milberg & Tommelein, 2019). Nämä toleranssivaatimukset jaetaan eri ammattiryhmille, joiden perusteella urakoitsijat ja aliurakoitsijat suorittavat rakennusprojektin. Esivalmistetuissa komponenteissa toleranssit ovat usein hyvin pieniä, alle millimetrin, kun taas paikan päällä asennettavissa komponenteissa toleranssit voivat olla senttimetrien suuruisia (Ballast, 2007, Koskela, 2000).

Useat ammattiyhdistykset ovat laatineet toleranssispesifikaatioita (Milberg & Tommelein, 2019). Esimerkiksi betonituotteiden osalta American Concrete Institute (ACI) on laatinut ACI 117 -komitean spesifikaation, jota käytetään suunnittelijoiden ja urakoitsijoiden toimituksissa (ACI (American

Concrete Institute), 2015). American Society of Concrete Contractors (ASCC) ja Precast/Prestressed Concrete Institute (PCI) määrittelevät toleransseja betonisten rakenteiden osalta (ASCC (American Society of Concrete Contractors), 2004; PCI (Precast/Prestressed Concrete Institute), 2007). Kaikilla aloilla tai ammattiryhmillä ei kuitenkaan näytä olevan tällaisia toleransseja, mikä aiheuttaa vaikeuksia rakennusalan tekijöille (Milberg & Tommelein, 2020).

2.1.2 Esivalmisteet ja niiden toleranssi

Esivalmisteet ovat rakenteiden komponentteja, jotka valmistetaan ja kootaan tehtaassa tai muussa tuotantolaitoksessa, minkä jälkeen valmiit kokoonpanot tai osakokoonpanot kuljetetaan rakennustyömaalle asennettaviksi (Vähä ym. 2013). Esivalmisteiden avulla rakentaminen yleistyy vauhdilla rakennusalan projekteissa, sillä ne tuovat mukanaan monia etuja: projektit valmistuvat nopeammin, kustannukset pysyvät matalampina, työmaa on turvallisempi ja laadunvalvonta helpottuu (Shahtaheri ym. 2017). Vuoteen 2025 mennessä Kiinan tavoitteena on, että esivalmistettujen rakennusten osuus uudisrakentamisesta olisi 20–50 % (Shen ym. 2018).

Esivalmisteiden toleranssi voidaan jakaa tuotantotoleransseihin ja asennustoleransseihin (Shahtaheri ym. 2017). Esivalmisteiden valmistustoleranssit voivat olla hyvin tiukat (pieni vaihteluväli), kun taas työmaalla esivalmisteiden asennustoleranssit riippuvat asennusmenetelmistä, ja ovat siten yleensä suurempia (suuri vaihteluväli) (Gann, 1996; Gibb, 2001). Tiukat valmistustoleranssit tekevät esivalmisteista mittatarkan komponentin (Long ym. 2023).

Esivalmisteiden mittoihin vaikuttavien tekijöiden, kuten lämpötilavaihtelun aiheuttaman kutistumisen tai kuljetuksen aikana syntyvän vaurioitumisen, ym. huomioimatta jättäminen suunnitteluvaiheessa voi olla riskialtis ratkaisu, sillä siitä syntyvien poikkeamien korjaaminen työmaalla voi olla kallista ja aikaa vievää (Johnsson & Meiling, 2009). Siksi esivalmisteiden mittatoleranssien hallinta on ratkaisevan tärkeää, jotta esivalmisteiden avulla rakentaminen onnistuu projektissa (Shahtaheri ym. 2017).

2.2 Toleranssipoikkeama ja sen vaikutus

Toleranssipoikkeamat ovat virheitä, joita syntyy, kun toleranssimäärittelyä ei noudateta (Talebi, 2019). Tällaiset poikkeamat voivat vaatia korjaustoimenpiteitä tai tietyissä tapauksissa ne voidaan hyväksyä sellaisenaan (Talebi, 2019). Ratkaisemattomina toleranssipoikkeamat voivat vaikuttaa merkittävästi kriittisiin tekijöihin, kuten vesitiiviyteen, turvallisuuteen, kestävyyteen ja energiatehokkuuteen (Berg & Holicky, 1989; British Standards Institution,

1990). Ne voivat myös lisätä rakennus- ja ylläpitokustannuksia, aiheuttaa viivästyksiä ja kasvattaa materiaalihukkaa. Lisäksi ne voivat heikentää asiakastyytyväisyyttä, joka on tärkeä tekijä organisaation menestykselle (American Concrete Institute, 2014; Birkeland & Westhoff, 1971).

Toleranssipoikkeamat ovat usein kiistojen lähteenä kuluttajien, urakoitsijoiden, toimitusketjun ja asiakkaiden välillä (American Concrete Institute, 2014; Birkeland & Westhoff, 1971). Jos projektissa havaitaan, että toleranssivaatimuksia ei ole saavutettu, poikkeamia pyritään ratkaisemaan muokkauksilla, lisävaiheilla tai aikaa vievillä ja kalliilla prosesseilla. Nämä toimenpiteet vaikuttavat suoraan projektin kestoon ja kustannuksiin (Milberg & Tommelein, 2004).

2.2.1 Toleranssipoikkeamiin johtavat tekijät

Toleranssipoikkeamien taustalla on usein epäselvä viestintä vaatimuksista, sekä puutteelliset tiedot määräyksissä (Berg & Holicky, 1989). Muita johtavia tekijöitä ovat työn heikko laatu sekä liiallinen luottaminen viiteasiakirjoissa esitettyihin, käytäntöön huonosti soveltuviin toleransseihin (Seymour ym. 1997). Työn heikko laatu voi puolestaan johtua esimerkiksi epätarkkuuksista työmaalla tehtävässä asennuksessa (kuten elementtiseinien pystytyksessä) tai epätarkan asennuskaluston käytöstä (Jingmond ym. 2011). Lisäksi puutteellinen toleranssien valvonta lisää toistuvia toleranssipoikkeamia (Talebi ym. 2020). Esivalmisteiden tapauksessa toleranssipoikkeamiin johtavia tekijöitä ovat esimerkiksi esivalmisteiden valmistusprosessit, esivalmisteen lämpötilavaihtelun aiheuttamat tilavuuden muutokset, esivalmisteiden taipuminen, vääntyminen tai vaurioituminen kuljetuksen tai asennuksen aikana sekä liitosten epätarkkuudet (Lawson ym. 2014: Shahtaheri ym. 2017).

Vaikka esivalmisteiden tuotannossa käytetään tarkkoja toleransseja, niiden sovittaminen työmaalla on usein silti haastavaa, sillä niiden tarkkaan suunnittelut mitat tarjoavat vain vähän liikkumavaraa vaihtelevien asennuskohteiden huomioimiseen (Smith, 2010). Tämä havaittiin asunnossa, jossa asennettiin esivalmisteita kylpyhuoneisiin. Esivalmistettujen komponenttien tarkka mitoitus ja valitut toleranssien hallintaratkaisut eivät sopineet kaikkien asuntojen kylpyhuoneisiin, minkä vuoksi niitä jouduttiin muokkaamaan paikan päällä, mikä johti esivalmistusten mittojen muutoksiin, jotka ylittivät sallitut toleranssirajat (Alhava ym. 2024). Tämä esivalmisteiden tarkkojen toleranssien aiheuttama mittojen vähäinen liikkumavara toimii merkittävänä rajoitteena esivalmisterakentamisen tekniikoita valittaessa, mikä todettiin esivalmisteilla rakentamiseen liittyvässä tutkimuksessa (Jaillon & Poon, 2014).

Millberg ja Tommlein (2003) havaitsivat, että rakennusalan toimijat kiinnittävät vain vähän huomiota geometristen toleranssien vaikutuksiin rakennusprojektien laatuun, kestoon ja kuluihin. Suunnittelijat ovat perinteisesti laiminlyöneet jatkuvan parantamisen (Koskela, 2000), vaikka se on olennainen osa toleranssien hallinnan parantamista, ja usein he myös olettavat, että yleiset käytännöt ratkaisevat toleranssipoikkeamat (Love ym. 2009). Tämä johtuu useista syistä. Ensinnäkin rakennusprosessien geometrisista vaihteluista on saatavilla niukasti tietoa. Toiseksi vastuu toleranssien hallinnasta on epäselvä, mikä johtaa usein vastuun ja syyn siirtämiseen prosessissa eteenpäin. Kolmanneksi rakennusalalla hyödynnetään tyypillisesti perinteisiä strategioita geometristen vaihtelujen hallintaan. Näiden strategioiden kustannuksia ei kuitenkaan seurata erikseen, mikä estää vaihtoehtoisten lähestymistapojen vaikutusten arvioinnin. Lopuksi geometristen vaihtelujen ja niiden kertymisen hahmottaminen ja kuvaaminen on haastavaa (Milberg & Tommelein, 2004).

2.3 Toleranssien hallintamenetelmät rakentamisessa

Toleranssien hallinta rakentamisessa tarkoittaa erilaisten työkalujen ja menetelmien käyttöä sen varmistamiseksi, että rakennusosat sopivat oikein ja toimivat suunnitellulla tavalla (Talebi ym. 2020). Sen avulla pyritään vähentämään mitta- ja geometrisista vaihteluista johtuvia poikkeamia (Enshassi ym. 2019), varmistamaan suunnitelmien toteutettavuus (Rausch ym. 2017) ja rakenteiden kestävyys (Construction Industry Institute, 1993), lyhentämään rakennusaikoja estämällä virheistä johtuvat korjaukset (Milberg, 2006) sekä minimoimaan kustannuksia (Landin & Kämpe, 2007) ja parantamaan laatua (Forsythe, 2006).

Esivalmisteissa mitta- ja muotovaihteluiden hallitsemiseksi käytetään tarkkoja valmistusmenetelmiä, kuten 3D-kiinnitysjärjestelmiä, mallikehikoita, laserleikkausta ja robottiasennusta. (Shahtaheri ym. 2017) Vaikka esivalmisteet valmistettaisiin tarkasti edellä mainituilla, mahdollisesti kalliilla menetelmillä (Talebi ym. 2020) ja käytettäisiin kehittyneitä tarkastusmenetelmiä, mittojen ja muotojen vaihtelu voi silti aiheuttaa poikkeamia. Tämä johtuu eroista tuotannon ja työmaan toleranssien välillä sekä kuljetuksen ja käsittelyn vaikutuksista (Smith, 2010).

Toleranssien hallintamenetelmät ja niiden tuntemus vaikuttavat olevan puutteellisia rakennusalalla. Minato (2003) huomauttaa, että rakennusala keskittyy yleensä toleranssipoikkeamiin vain yksittäisten tehtävien tai toimintojen tasolla ja korjaa virheet vasta työmaalla. Virheiden korjaaminen (esim. välikerrosten lisääminen, saumaaminen, reikien suurentaminen, voiman käyttö) riippuu pääasiassa työntekijän kokemuksesta ja taidoista, ei järjestelmällisestä prosessista (Talebi ym. 2020). Toleranssien hallinta on

tiiviisti yhteydessä rakennusprosessin kyvykkyyteen, eli siihen, kuinka todennäköisesti prosessi tuottaa tuloksia, jotka täyttävät määritellyt toleranssivaatimukset (Talebi ym. 2020).

Vaikka toleranssit ovat tärkeitä, rakennusalalla puuttuu usein systemaattinen ja käytännönläheinen prosessi niiden hallintaan, joka tarjoaisi suunnittelijoille ja toteuttajille ennakoivaa näkemystä poikkeamien ehkäisemiseksi (Milberg & Tommelein, 2003). Kirjallisuus rajoittuu kuitenkin usein hajanaisiin, yleisluontoisiin suosituksiin, siitä kuinka toleranssipoikkeamat voidaan ratkaista ennakoivasti, ja syynä siihen, miksi kattavaa ja laajasti hyväksyttyä ratkaisua ei ole olemassa, saattaa olla toleranssipoikkeamien syiden riittämätön ymmärtäminen (Milberg, 2006; Talebi, 2019).

2.3.1 Ennakoivat menetelmät

Toleranssihallinnassa suositeltavimmat menetelmät ovat ennakoivia, eli ne keskittyvät toleranssipoikkeamien ehkäisemiseen ennakkoon ja vähentämään niiden syntymisen todennäköisyyttä. (Milberg & Tommelein, 2019) Alla olevassa taulukossa 1 on esitelty erilaisia ennakoivia menetelmiä. Jokaisesta menetelmästä on annettu kuvaus sekä kuvattu sen hyödyt ja haasteet.

Taulukko 1. Ennakoivat menetelmät (Milberg & Tommelein, 2019)

Menetelmät	**Kuvaus**	**Hyödyt**	**Haasteet**
1. Prosessisuunnittelun suora ohjaus	Hallitaan kriittisiä mittoja, jotka vaikuttavat työn laatuun, mahdollisimman suoraan, vähentäen poikkeamien kertymistä.	Vähentää mittapoikkeamia, sillä vain yksi prosessi vaikuttaa mittaan, toisin kuin tilanteissa, joissa useat prosessit voivat aiheuttaa poikkeamien kertymistä.	Ei poista poikkeamia kokonaan, vaan vähentää niiden todennäköisyyttä.
2. Prosessin kyvykkyyden säätely	Valitaan prosesseja, jotka pystyvät tuottamaan tarkempia mittoja kuin osille asetetut toleranssit.	Osien sallittuja toleransseja voidaan pienentää, mikä varmistaa paremman yhteensopivuuden. Prosessit suunnitellaan ennakoivasti niin, että mahdolliset poikkeamat tunnistetaan etukäteen ja yhteensopivuus varmistetaan.	Menetelmä on tehokas vain, jos yhteensopimattomuus tunnistetaan etukäteen, mikä edellyttää ennakoivaa suunnittelua ja prosessien valmistelua.

Taulukko 1 (jatkuu)

Taulukko 1. Ennakoivat menetelmät (Milberg & Tommelein, 2019)

3. Kokoamisprosessin toleranssivirheiden hallinta	Kokoamisen aikana virheitä hallitaan asettamalla seuraava osa paikkaan, joka kompensoi aiempia virheitä.	Hallitaan mittoja, joita kokoamisjärjestys ei kykene suoraan hallitsemaan.	Vaatii huolellista suunnittelua, erityisesti kokoonpanovaiheiden järjestyksen osalta, jotta osat sopivat haluttuihin toleranssirajoihin.
4. Säädettävien osien tai liitosten suunnittelu	Suunnitellaan tuotteeseen säädettäviä osia tai liitoksia, jotka korjaavat ennakoidut toleranssivirheet.	Parantaa sovitusmahdollisuuksia ja vähentää poikkeamien esiintymistä kokoonpanossa.	Menetelmä ei kuitenkaan takaa täydellistä yhteensopivuutta ilman toleranssianalyysiä, joka määrittää tarvittavan säätömäärän.
5. Ennakoiva toleranssianalyysi	Havaitsee ja estää toleranssipoikkeamia sekä ratkaisee etukäteen, miten osat sopivat yhteen. Tätä menetelmää käytetään yhdessä toleranssianalyysin kanssa, jotta voidaan määrittää, kuinka paljon vaihtelua on otettava huomioon.	Yhdistetään muihin menetelmiin, jotta kertyneet virheet voidaan korjata tehokkaasti.	Yksi suurimmista haasteista on päättää, mikä mitta jätetään pois, jotta toleranssit voidaan ottaa huomioon. Tämä päätös vaatii huolellista miettimistä, koska se vaikuttaa siihen, miten toleranssit otetaan huomioon.
6. Toleranssipoikkeamille vähemmän herkät tuotteet	Suunnitellaan tuotteita, jotka eivät ole herkkiä pienille mittapoikkeamille.	Suunnitelmat, jotka käyttävät päällekkäisiä liitoksia tai joustavia täytteitä (kuten saumausmassaa tai laajenemissaumoja), voivat helpommin ottaa huomioon vaihtelut, jolloin toleranssien yhteensopimattomuus on vähemmän todennäköistä.	Toleranssien yhteensopivuus vaatii kokonaisvaltaista lähestymistä, mikä voi olla vaikeaa ilman eri osapuolten yhteistyötä – erityisesti, kun kehitetään ja otetaan käyttöön yhteisiä toleranssistandardeja.

Taulukko 1 osoittaa, että ennakoivien menetelmien yhteinen vahvuus on laadun ja yhteensopivuuden parantaminen ennakoinnin avulla. Suunnittelun ja

rakentamisen välinen integraatio auttavat ennalta ehkäisemään toleranssipoikkeamia jo suunnitteluvaiheessa (Talebi ym. 2016), sillä työmaalla ilmenevät poikkeamat johtuvat pääasiassa heikosta integraatiosta (Alshawi & Underwood, 1996).

Ennakoivien menetelmien heikkoutena on niiden monimutkaisuus sekä riippuvuus huolellisesta suunnittelusta ja yhteistyöstä. Vaikka rakennusalalla on viime aikoina pyritty sisällyttämään kaikki yksityiskohdat suunnitteluun työmaalla ilmenevien poikkeamien vähentämiseksi, tämä ei välttämättä paranna suorituskykyä (Love & Josephson, 2004). Joskus suunnitteluvaiheen tarkastuksiin ja yhteistyöhön käytetty aika voi jopa maksaa enemmän kuin poikkeamien ratkaiseminen suoraan työmaalla. Talebi ym. (2016) mainitsikin, että suunnittelun ja rakentamisen heikko yhteensopivuus johtaa usein laatupoikkeamiin.

Taulukosta 1 käy ilmi, että on olemassa useita ennakoivia menetelmiä, joiden avulla voidaan estää toleranssipoikkeamien syntyminen. Yksi tällainen menetelmä on ennakoivan toleranssianalyysin laatiminen. Tätä menetelmää olisi voitu hyödyntää Milbergin ja Tommeleinin (2019) tutkimuksessa, jossa ikkunoita asennettiin paikan päällä valetun betoniseinämän aukkoihin. Toleranssipoikkeama ilmeni ikkunoita asennettaessa aukkoihin. Siinä ikkunat eivät asettuneet betoniaukkoihin, koska aliurakoitsija oli tulkinnut, että betoniaukkojen toleranssi piti olla ACI (American Concrete Institute) standardien mukainen eli suurempi kuin mitä projektitiimin kanssa oli aikaisemmin sovittu.

Poikkeamaa ei olisi syntynyt, mikäli toleranssianalyysi olisi tehty analysoimalla ikkunoiden ja betonisten aukkojen mitat ja toleranssit tarkasti, jotta mahdolliset toleranssin suljetut silmukat olisi voitu tunnistaa ja estää. Toleranssin suljetut silmukat syntyvät, kun järjestelmän mitat ja toleranssit määritellään liian tarkasti eikä valmistus- tai rakennusvaiheessa ole riittävästi joustoa vaihteluiden tai säätöjen hallitsemiseksi (Milberg & Tommelein, 2019).

Toleranssianalyysin avulla olisi voitu tunnistaa mahdolliset ristiriidat suunnittelumitoissa jo varhaisessa vaiheessa ja ratkaista ne ennen ikkunoiden valmistuksen aloittamista, ilman tarvetta tarkemittauksille (Milberg & Tommelein, 2019). Koska betoniaukkojen ikkunoiden suunnittelussa ja yhteistyössä ilmeni puutteita eikä ennakoivia menetelmiä voitu soveltaa tehokkaasti, poikkeamaan jouduttiin vastaamaan reaktiivisin toimenpitein.

2.3.2 Reaktiiviset menetelmät

Toleranssihallinnassa reaktiiviset menetelmät keskittyvät poikkeamien tunnistamiseen ja korjaamiseen, ovat usein tarpeen rakennusprojekteissa.

Reaktiivisten menetelmien avulla pyritään minimoimaan aika- ja kustannusvaikutuksia sekä työnkulun häiriöitä. Rakennusprojekteissa reaktiiviset menetelmät ovat yleisemmin käytössä käytännön tarpeiden vuoksi (Milberg & Tommelein, 2019). Alla olevassa taulukossa 2 on esitelty erilaisia reaktiivisia menetelmiä. Ennakoivien menetelmien tapaan jokaisesta menetelmästä on annettu kuvaus sekä kuvattu sen hyödyt ja haasteet

Taulukko 2. Reaktiiviset menetelmät (Milberg & Tommelein, 2019)

Menetelmät	**Kuvaus**	**Hyödyt**	**Haasteet**
1. Toleranssipoikkeaman tunnistaminen ja korjaaminen	Poikkeamien ratkaiseminen säätämällä tai korjaamalla osia poikkeaman ilmetessä.	Nopeasti käyttöönotettavissa.	Aiheuttaa usein lisäkustannuksia ja viivästyksiä.
2. Osien sovitus	Menetelmää käytetään tilanteissa, joissa on useita kokoonpantavia osia, joiden mittoja ohjaavat samat toleranssit. Osia sovitetaan yhteen hyödyntämällä mitta-arvojen satunnaista vaihtelua, joka keskittyy keskiarvon ympärille.	Mahdollistaa osien käytön, vaikka niiden mitat vaihtelevat, sovittamalla suuremmat osat isompiin aukkoihin ja pienemmät pienempiin.	Tämä menetelmä ei takaa, että oikea yhteensopivuus löytyy aina, erityisesti kun osien kokojen vaihtelu ylittää sallitut toleranssirajat.
3. Koon mukauttaminen ja sovittaminen	Menetelmää käytetään, kun projektin suunnitteluvaiheessa on jäänyt huomioimatta toleranssiepäyhteensopivuus.	Osien valmistaminen rakenteen mittojen mukaan varmistaa, että osat sopivat yhteen, vaikka suunnittelussa olisi virheitä.	Vaatii lisätoimia osien mittaamiseen ja valmistamiseen kenttäolosuhteiden mukaan, mikä ei välttämättä onnistu nykyisellä aikarajalla.

Reaktiiviset menetelmät tarjoavat nopean ja joustavan ratkaisun poikkeamien ilmetessä. Yksi reaktiivisista menetelmistä on tunnistaa toleranssipoikkeama ja ratkaista se korjaamalla nopeasti. Betoniaukeamien ikkunoiden tapauksessa (Milberg & Tommelein, 2019) havaittu toleranssipoikkeama ratkaistiin tilaamalla ikkunat arvioitujen vakiokokojen perusteella, koska tarkkoja mittoja ei ollut saatavilla. Tämä mahdollisti projektin etenemisen ikkunoiden valmistuksessa. Kun tarkat mitat saatiin käyttöön, jo tuotannossa olevia ikkunoita jouduttiin muokkaamaan. Työmaalla henkilöstö käsitteli yhteensopimattomia ikkunoita mittaamalla aukot uudelleen ja

siirtämällä ikkunat oikeisiin paikkoihin. Tämä mahdollisti projektin etenemisen, joskin vähemmän tehokkaasti (Milberg & Tommelein, 2019).

Taulukko 2 osoittaa, että reaktiivisten menetelmien heikkouksia ovat se, että ne usein aiheuttavat lisääntyneitä kustannuksia ja aikatauluviiveitä, eivät ratkaise poikkeamaa, jos vaihtelu ylittää sallitut toleranssit, ja niitä sovelletaan yleensä vasta, kun poikkeama on jo ilmennyt, mikä johtaa tehottomuuteen.

Betoniaukkojen ikkunoiden tapauksessa korjaukset aiheuttivat viivästyksiä, mikä puolestaan lisäsi merkittävästi kustannuksia. Tämän tapauksen myötä tiimi sai arvokkaan opetuksen ennakoivien menetelmien merkityksestä toleranssien hallinnassa (Milberg & Tommelein, 2019).

Reaktiivisia menetelmiä käytetään yleensä vasta pakon edessä, jolloin poikkeama on jo ilmennyt. Tällöin on paitsi ratkaistava itse poikkeama, myös tunnistettava sen syyt (Liker 2004) ja pyrittävä estämään vastaavien poikkeamien toistuminen. Tehokkaan toleranssien hallinnan ratkaisun tulisi erityisesti keskittyä toleranssiriskien ennakoivaan tunnistamiseen (Enshassi ym. 2019, Shahtaheri ym. 2017) ja sen jälkeen näiden riskien vähentämiseen tähtäävään suunnitteluun (Talebi, 2019). Tämän vuoksi rakennusalalla tulisi siirtyä reaktiivisista menetelmistä ennakoiviin. Jotta tämä siirtymä onnistuu, se vaatii, että toleranssipoikkeamien juurisyyt tunnistetaan ja poistetaan (Meiling ym. 2014).

2.3.3 Viestinnän rooli toleranssien hallinnassa

Toleranssitietojen, kuten mitta- ja geometria-arvojen sekä riskien, selkeä viestintä erilaisten piirustusten ja spesifikaatioiden avulla osapuolten välillä on tärkeää, jotta komponentit sopivat yhteen ja toimivat oikein. (Seymour ym. 1997, Krogstie 2015) Kuitenkin tämä viestintä rajoittuu usein vain osaan, jossa luetellaan viiteasiakirjat, eikä se aina ole relevantti projektille (Frank, 2013).

Yhdessä tutkimuksessa seurattiin brittiläistä konsultointiyritystä, jonka keskeinen painopiste on toleranssipoikkeamien tunnistaminen, analysointi ja selkeä viestintä asiakkaille (Talebi ym. 2020). Tutkimuksessa tarkasteltiin yrityksen käytäntöjä toleranssipoikkeamien hallinnassa. Haastatteluissa yrityksen rakennusinsinöörit kuvasivat toimintatapojaan toleranssipoikkeamien hallitsemiseksi. Toleranssitiedon heikko viestintä on yhä merkittävä haaste teollisuudessa, eikä siihen ole toistaiseksi kiinnitetty riittävästi huomiota (Ballast, 2007; Anderson, 1965). Tämän takia haastatteluihin osallistuneet rakennusalan ammattilaiset korostivat, että toleranssitietojen, kuten toleranssivaatimusten ja niihin liittyvien riskien, tehokas viestintä on toleranssihallinnan tärkein vaihe. Tehokas viestintä varmistaa, että kaikki osapuolet suunnittelijoista urakoitsijoihin ymmärtävät, miten rakenteelliset ja

ei-rakenteelliset osat sovitetaan yhteen, vaikka niissä olisi mitta- ja muotovaihteluita (Talebi ym. 2020).

Haastateltavien mukaan, jos rakennesuunnittelijat, arkkitehdit ja rakennustiimit työskentelevät erillään ja keskittyvät vain omiin osiin, osien toleranssit eivät sovi yhteen. Tämän välttämiseksi yritys laatii säännöllisesti toleranssiraportteja, jotka auttavat varmistamaan, että kaikki osapuolet ymmärtävät yhdessä toleranssivaatimukset ja -riskit. Tämä vähentää kiistoja ja mahdollistaa parempien suunnitelmien laatimisen, kun osapuolet tuntevat vaatimukset ja riskit. Yrityksen näkemyksen mukaan monet toleranssipoikkeamat voidaan välttää, kun toleranssitiedot jaetaan ajoissa ennen rakentamisen aloittamista (Talebi ym. 2020).

Betoniaukkojen ikkunoiden tapaus osoitti, kuinka puutteellinen viestintä aliurakoitsijoiden ja projektitiimin välillä johti toleranssipoikkeamaan rakennusprojektissa, sillä kaikki eivät olleet samalla kartalla toleranssivaatimuksista. Toleranssipoikkeaman ratkaiseminen vaati runsaasti koordinointia, joka sisälsi mm. lukuisia kokouksia, tarjouksia ja keskusteluja, jotta muutokset voitiin hallita ja kaikkien osapuolten yhteisymmärrys varmistaa (Milberg & Tommelein, 2019).

2.4 Päivittäisjohtaminen

2.4.1 Päivittäisjohtamisen määritelmä

Lean Construction Institute (LCI, 2023) kuvaa päivittäisjohtamisen rakennustiimin lyhyiksi päivittäisiksi palavereiksi, joissa käydään läpi työn eteneminen, työpäivän tavoitteet, seurataan aikataulua ja puututaan nopeasti rakennusprosessissa esiin tuleviin poikkeamiin ennen kuin ne ehtivät vaarantaa tavoitteiden saavuttamista. Näiden palavereiden on raportoitu kestävän yleensä vain 5–20 minuuttia (Jimenez ym. 2020; ThinkProductive, 2018), mikä tukee tehokasta tiedonvaihtoa (Wester & Hitka 2022).

Päivittäisjohtaminen perustuu lean-tuotannon periaatteisiin, jotka syntyivät Toyotalla 1900-luvun puolivälissä (Ohno,2005; Rother, 2009). Alun perin lean-tuotanto keskittyi tehokkuuden ja laadun parantamiseen autoteollisuudessa prosessien optimoinnilla. Ajan myötä nämä periaatteet kehittyivät laajemmaksi filosofiaksi, joka tähtää hukkaamisen, virheiden ja turhien kustannusten vähentämiseen kaikilla liiketoiminta-alueilla samalla, kun parannetaan laatua ja asiakastyytyväisyyttä (Suzaki, 1994). Päivittäisjohtamisesta tuli olennainen osa lean-hallintaa, jonka tavoitteena on parantaa viestintää, saada työntekijät aktiivisesti mukaan poikkeamien ratkaisemiseen ja päätöksentekoon arvon luomisessa (Wester & Hitka, 2022) sekä edistää kaikkien

työntekijöiden ratkaisukeskeisen asenteen omaksumista, jotta virheitä ei toistu (Paez ym. 2005).

Päivittäisjohtaminen määritellään prosessien johtamisen ja hallinnan tehostamiseksi paikan päällä, jossa yrityksen tuotanto- ja palveluprosessit tapahtuvat, eli siellä, missä yritykselle luodaan arvoa. Käytännössä tämä ilmenee lyhyinä päivittäisinä palavereina organisaation eri osa-alueilla sekä visuaalisten raportointitaulujen hyödyntämisenä paikan päällä (Wester & Hitka 2022). Bertagnolli (2018) selittää, että päivittäisjohtaminen koostuu neljästä osa-alueesta: viestinnästä, keskeisten suorituskykymittareiden visualisoinnista, poikkeamanratkaisusta ja prosessinhallinnasta.

2.4.2 Päivittäisjohtamisen hyödyt

Päivittäisjohtaminen tarjoaa selkeän tavan parantaa läpinäkyvyyttä, sillä suorituskyvyn ja prosessien visualisointi auttaa tunnistamaan poikkeamat varhaisessa vaiheessa sekä tehostaa viestintää. Visualisointia ja viestintää tukevat palavereissa käytettävät visuaaliset työkalut, kuten työntekijä- ja viestintätaulut, jotka esittävät keskeisiä tietoja, kuten virheet, poissaolot ja aikataulujen noudattamisen. Lisäksi päivittäisjohtaminen vahvistaa jatkuvaa parantamista ja sitoutumista rakennusprojektien tuotantoprosesseihin (Hofacker ym. 2010).

Päivittäisjohtamisen myötä jatkuvasti kehitetyt työnkulut sekä säännölliset lyhyet mittaukset ja palautteet tekevät projektien toteutuksesta vakaampaa ja parantavat tehokkuutta. Selkeät aikataulut, kuten päivittäiset rutiinit, vähentävät keskeytyksiä ja auttavat keskittymään tärkeimpiin tehtäviin (Hofacker ym. 2010). Tämän ansiosta tuottavuus paranee (De Leeuw & Berg 2011), ja toleranssipoikkeamat havaitaan ajoissa, jolloin niiden hallinta onnistuu ennakoivilla menetelmillä (Talebi ym. 2020).

Päivittäisjohtaminen mahdollistaa sujuvan viestinnän, sillä päivittäiset ja viikoittaiset palaverit varmistavat, että kaikki osapuolet pysyvät ajan tasalla (Hofacker ym. 2010). Yhteinen ymmärrys päivän tavoitteista ja haasteista auttaa tiimejä tekemään yhteistyötä ja varmistaa, että kaikki toimivat yhtenäisesti, samalla kun voidaan säästää kustannuksia ja aikaa. Mariz ym. (2019) ottivat päivittäisjohtamisen käyttöön rakennusprojektissa ja havaitsivat, että palavereissa nousi esiin erilaisia poikkeamia. Pienemmät poikkeamat ratkaistiin heti rakennustiimin kesken, kun taas suuremmat ohjattiin johtoryhmän käsiteltäviksi. Menetelmän käyttöönoton todettiin vähentäneen kustannuksia 7 %. Johansen ym. (2021) raportoivat, että yhdessä projektissa päivittäisjohtaminen otettiin käyttöön, mikä johti 19 %:n ajansäästöön.

Rakennusprojektiin liittyvässä tutkimuksessa, jossa hyödynnettiin päivittäisjohtamista, havaittiin myös, että tiedon jakamisen laatu parani aiemmasta. Toisessa tutkimuksessa, jossa hyödynnettiin päivittäisjohtamista rakennusprojektissa, huomattiin, että tiedon laatu – eli tiedon jakamiseen käytetyn ajan arvo – parani aikaisemmasta. Tieto oli tarkempaa, ajantasaisempaa ja täydellisempää. Toinen merkittävä muutos oli, että viestittävien asioiden tärkeys kasvoi, koska koko yrityksessä alettiin käyttää samoja kriteerejä poikkeamien arviointiin. Jos poikkeama ei ollut vakava, tiimi pystyi ratkaisemaan sen itse ilman, että aikaa meni sen viestintään ylemmän johdon kanssa (Heller 2023).

2.4.3 Päivittäisjohtaminen toleranssihallinnassa

Kirjallisuudessa on todettu, että rakennusprosessin toleranssipoikkeamat johtuvat usein epäselvästä viestinnästä sekä puutteellisista määräystiedoista (Berg & Holicky, 1989). Toleranssitietojen heikko välittyminen on edelleen merkittävä haaste alalla, eikä siihen ole toistaiseksi kiinnitetty riittävästi huomiota (Ballast, 2007; Anderson, 1965). Rakennusalan ammattilaisten mukaan toleranssihallinnan keskeisin vaihe on vaatimuksia ja niihin liittyviä riskejä koskevien tietojen tehokas ja selkeä viestintä. Epäselvyydet viestinnässä johtavat siihen, että urakoitsijat ja tarkastajat tulkitsevat vaatimukset eri tavoin, mikä puolestaan aiheuttaa ristiriitoja toleranssien ja käytettävissä olevien työmenetelmien välillä (Milberg, 2006). Jotta kaikki rakennusprosessin osapuolet ymmärtäisivät nämä tiedot, viestinnän on oltava yksinkertaista ja helposti omaksuttavaa (Talebi ym. 2020).

Päivittäisjohtaminen mahdollistaa tehokkaan viestinnän ja prosessien visualisoinnin. Visualisointia selkeyttävät apuvälineinä käytettävät työkalut, kuten erilaiset taulut (Hofacker ym. 2010). Tehokas viestintä varmisti, että kaikki osapuolet pysyivät ajan tasalla toleranssipoikkeamista, mikä paransi rakennusprosessin laatua (Valkonen ym. 2024). Lisäksi selkeä viestintä auttaa välttämään monia toleranssipoikkeamia, kun tiedot jaetaan osapuolille ajoissa jo ennen rakentamisen aloittamista (Talebi ym. 2020).

Koska päivittäisjohtamisen tavoitteena on parantaa viestintää ja saada työntekijät aktiivisesti mukaan poikkeamien ratkaisemiseen, se edellyttää, että työntekijät omaksuvat ratkaisukeskeisen asenteen. Tällaisen asenteen avulla työntekijät voivat hyödyntää poikkeamia tiedonlähteenä, mikä auttaa tunnistamaan niiden taustalla olevat juurisyyt. Näin voidaan ryhtyä toimiin poikkeamien ehkäisemiseksi ja vähentää lopulta työssä esiintyvää vaihtelua (Paezy ym. 2005).

Päivittäisjohtamisessa poikkeamien juurisyyt pyritään selvittämään ja poistamaan juurisyyanalyysin avulla, jonka tavoitteena on systemaattisesti

luokitella juurisyyt. Juurisyiden tunnistaminen ja ratkaiseminen on keskeistä, jotta samanlaiset poikkeamat eivät toistu tulevissa työtehtävissä (Alhava ym. 2024; Fauchier & Alves, 2013). Lappalainen ym. (2022) havaitsivat, että päivittäisjohtamista käyttävässä projektissa poikkeamat käsiteltiin päivittäin ja juurisyyt poistettiin. Päivittäisjohtamista käyttämättömässä projektissa juurisyyt kirjattiin viikoittain, mutta niiden poistamisesta keskusteltiin vähän, eikä systemaattista pyrkimystä ollut, mikä johti poikkeamien toistumiseen.

Alhavan ym. (2024) tutkimus osoitti, että päivittäisjohtamisessa juurisyitä ei käsitellä, koska niiden ratkaisemiseen ei varata riittävästi aikaa. Riittävän ajan avulla voidaan hyödyntää merkittävimpien ja yleisimpien poikkeamien juurisyiden pysyvään poistamiseen (Ballard ym. 2007). Ajan puutteen takia poikkeamiin vastataan usein väliaikaisin toimin, jotta työ voi jatkua (Alhava ym. 2024).

2.4.4 Poikkeamien raportointi päivittäisjohtamisessa

On todettu, että päivittäisjohtamisessa samat poikkeamat toistuvat ilman, että niistä opitaan (Rother, 2009; Liker, 2020). Tämä johtuu todennäköisesti siitä, ettei poikkeamia raportoida kattavasti – osa jää kokonaan kirjaamatta (Pekuri ym. 2011). Raportoidut tapaukset käsitellään usein vain suullisesti, eikä poikkeamia tai niiden ratkaisuja dokumentoida systemaattisesti. Tämä estää toistuvien poikkeamien tunnistamisen, juurisyihin puuttumisen sekä organisaation oppimisen (Liker, 2020; Rother, 2009). Seurauksena päivittäisjohtamista sovelletaan usein pelkästään selviytymiskeinona, ja työmaatoiminta nojaa pitkälti tilapäisratkaisuihin (Dave ym. 2008).

Kun päivittäisjohtamisen raportointi toimii, voidaan olettaa, että työmaalla ei esiinny poikkeamia, joita ei olisi jollain tavoin dokumentoitu. Raportoidut poikkeamat kirjataan riittävän tarkasti, ja ne ratkaistaan kahdella tasolla. Ensin poistetaan välitön este työn jatkumiselle, minkä jälkeen pyritään ehkäisemään saman poikkeaman uusiutuminen juurisyyanalyysin avulla (Alhava ym. 2019; Tommelein & Emdanat, 2022). Juurisyyanalyysissa luokituksia voidaan hyödyntää tunnistettujen juurisyiden systemaattiseen dokumentointiin, niiden esiintymistiheyden kartoittamiseen sekä sen varmistamiseen, että ne ohjautuvat oikealle taholle ratkaistaviksi ja korjattaviksi (Ballard ym. 2007).

3 Menetelmät

3.1 Tutkimuksen tausta

Tutkimus toteutetaan Fira Rakennus Oy:n putkityömaalla. Tutkittavassa yrityksessä putkityöt tehdään Lean-tuotantoon pohjautuen, jossa päivittäisjohtamisella on keskeinen rooli rakennusprojektin onnistumisessa. Yritys on käyttänyt kyseistä mallia useissa rakennusprojekteissaan ja todennut sen parantaneen yhteistyötä ja viestintää eri osapuolten välillä. Tämä on helpottanut tiedonkulkua, nopeuttanut poikkeamien ratkaisua ja varmistanut tilaajan tarpeiden huomioimisen (Fira, 2025).

Päivittäisjohtamisen tehokkuus virheiden ja poikkeamien ratkaisemisessa oli keskeinen tarkastelukohde tässä tutkimuksessa. Esivalmisteista aiheutuvat toleranssipoikkeamat vaikuttavat olevan merkittävä poikkeamien lähde, minkä vuoksi näistä molemmista on saatava tarkkaa dataa (Alhava ym. 2019). Oletuksena on, että esivalmisteiden keskeisiä poikkeamia ovat asennustarkkuus sekä säätömahdollisuuksien puute (Smith, 2010). Tämän seurauksena ne eivät mukaudu asennuskohteiden mittapoikkeamiin. Yksi mahdollinen selittävä tekijä on se, että esivalmisteista puuttuvat osat, joiden avulla voitaisiin sopeutua siihen, että asunnon mitat voivat poiketa merkittävästi sekä suunnitelmista että mallikohteesta. Näin ollen esivalmisteiden asentamisen rajallinen toleranssi aiheuttaa vaihtelua lopulliseen asennuslaatuun (Alhava ym. 2024).

3.2 Tutkittava kohde

Tutkimuskohteena on linjasaneerauskohde, putkiremonttityömaa pääkaupunkiseudulla, jossa remontti toteutetaan kahdessa kerrostalossa. Tutkimuksen aikana toinen kerrostalo oli purkuvaiheessa, joten tutkimus keskittyi pääosin toiseen taloon, jossa asennustyöt olivat jo käynnissä. Kerrostalossa on viisi kerrosta, ja jokaisessa kerroksessa neljä huoneistoa. Kaikissa huoneistoissa uusittiin kylpyhuoneet sekä niiden LVI- ja sähköjärjestelmät.

3.3 Tutkimusmenetelmät

Diplomityön kahden viikon mittainen seurantajakso aloitettiin suorittamalla työmaalla mittauksia erityisesti esivalmistetuista ja asennetuista elementeistä esimerkiksi mittanauhan tai laseretäisyysmittarin avulla. Mittanauha on rakentamisessa yleisimmin käytetty työkalu erilaisten kohteiden ja rakenteiden mittaamiseen, sillä se on kestävä, sisään kelautuva ja edullinen (Wang ym. 2023). Mittausten tavoitteena oli kerätä lähtötietoja esivalmisteista sekä tunnistaa asennuksista aiheutuvia poikkeamia.

Mittaustulokset dokumentoitiin kirjaamalla ne muistiin älypuhelimeen, koska se toimii tehokkaana tietojen hallinta-alustana ja tekee näin tiedon keräämisestä ja käsittelystä entistä hyödyllisempää (Zhang ym. 2018), sekä ottamalla valokuvia asennetuista esivalmisteista. 1900-luvun puolivälistä lähtien valokuvausta on hyödynnetty yhä laajemmin kvalitatiivisen tutkimuksen menetelmänä (Milasan, 2024). Se auttaa dokumentoimaan työmaan tilanteet tarkasti, seuraamaan työn etenemistä ja keräämään yksityiskohtaista tietoa, jota pelkät muistiinpanot eivät tavoita. Näin tutkimustulosten luotettavuus vahvistuu (Strząbała ym. 2022). Näin kerättyjä tuloksia voitiin vertailla keskenään ja analysoida myöhemmin päivittäisjohtamisen vaikutuksia. Mittausten avulla arvioitiin, kuinka tarkasti esivalmisteet ja niiden asennukset vastaavat suunnitelmia. Mittaukset toteutettiin samanaikaisesti päivittäisjohtamisen seurannan kanssa, jotta tulokset voitiin verrata päivittäisjohtamisen tuloksiin. Samalla tutkittiin esivalmisteiden prosessikyvykkyyttä eli sitä, millaista vaihtelua nykyisellä menetelmällä saavutetaan.

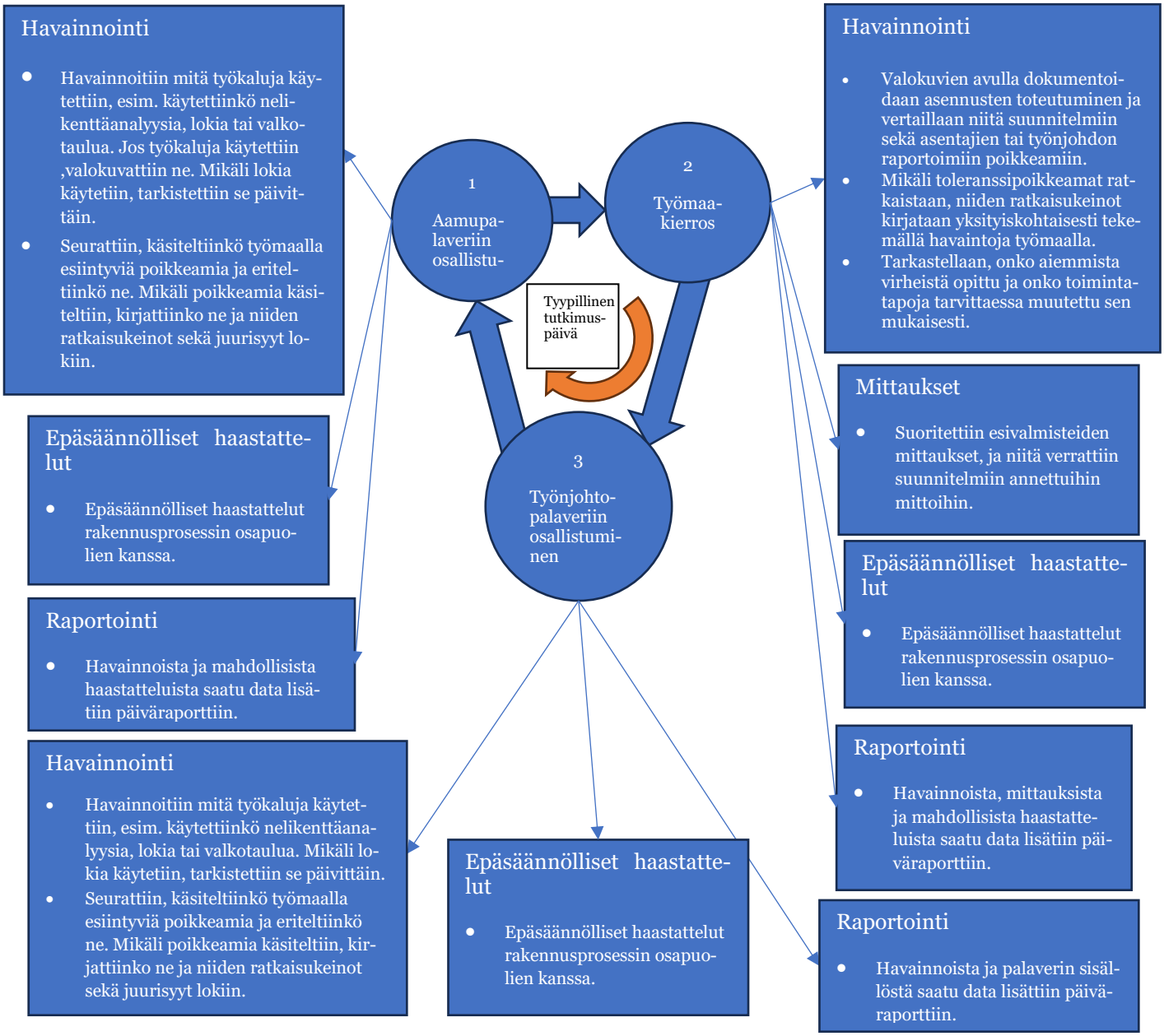
Seurantajakson aikana kartoitettiin päivittäisessä johtamisessa esiintyviä toleranssipoikkeamia. Seuranta toteutettiin osallistumalla päivittäisiin palavereihin ja seuraamalla niiden kulkua, kirjaamalla muistiinpanoja esimerkiksi työpäivän suunnitelmasta. Samalla dokumentoitiin palavereissa mahdollisesti käytettäviä työkaluja, kuten tauluja, valokuvaamalla niitä.

Palavereissa että työmaalla haastateltiin epäsäännöllisesti rakennusprosessiin osallistuneita osapuolia. Haastattelu on tiedonkeruumenetelmä, jossa tutkimukseen osallistujille esitetään kysymyksiä heidän mielipiteidensä, kokemustensa tai muiden tarvittavien tietojen saamiseksi (Rashidi ym. 2014). Haastattelut voidaan rakenteen mukaan jakaa rakennettuihin, puolirakennettuihin ja rakennelmattomiin haastatteluihin (Fontana & Frey, 2005). Tässä tutkimuksessa toteutetut haastattelut olivat rakennelmattomia. Minichiello ym. (1990) määrittelivät ne haastatteluiksi, joissa kysymykset ja vastausvaihtoehdot eivät ole etukäteen määriteltyjä, vaan haastattelutilanne on spontaani. Tutkimusjaksossa haastattelut olivat luonteeltaan keskustelevia, joiden tavoitteena oli saada selvennyksiä esimerkiksi rakennustyöntekijän toimintatavoista tai poikkeamista. Rakennelmattoman haastattelun vahvuutenakin on sen keskusteleva luonne, joka mahdollistaa joustavan reagoinnin yksilöllisiin eroihin ja tilanteiden muutoksiin (Patton, 2002). Haastatteluissa kerätyt tiedot raportoitiin. Palaverien seurannan avulla pyrittiin arvioimaan päivittäisen johtamisen toimintatapoja ja niiden vaikutusta toleranssipoikkeamien hallintaa.

Jokaisesta työpäivästä muodostettiin raportti, jossa käsiteltiin päivän tapahtumat. Päiväraporttiin sisältyi palaverien tapahtumat, esivalmisteiden ja asennuksien mittaukset, raportti esivalmisteiden asennuksesta ja

asennuksiin liittyvistä poikkeamista ja korjaustoimenpiteistä sekä asennusten valokuvat. Alla olevassa kaaviossa 1 on eritelty missä vaiheessa tutkimusprosessia eri menetelmät ovat hyödynnetty.

Kaavio 1. Hyödynnetyt menetelmät tutkimusprosessin eri vaiheissa.



3.4 Aikataulu

Tutkimus kesti 10 työpäivää, alkaen 9.6. ja päättyen 23.6. Kuten kaavio 1 näyttää, tyypillinen työpäivä sisälsi kaksi palaveria: aamupalaverin ja työnjohtopalaverin ja työmaakierroksen. Työpäivä alkoi aamupalaverilla, joka tutkimuksen aikana järjestettiin aina saman kaavan mukaisesti. Palaveria johti tietty työnjohtaja, ja siihen osallistui rakennustyöntekijöitä eri

ammattiryhmistä, kuten timpureita, sähköasentajia, maalareita ja putkiasentajia. Osallistujien määrä vaihteli tutkimuspäivien mukaan.

Aamupalavereissa työnjohtaja tarkasteli työaikataulua tietokoneelta ja seurasi töiden etenemistä. Hän kysyi työntekijöiltä, missä vaiheessa kukin oli työssään, ja heidän vastaustensa perusteella hän teki tarvittavat muutokset aikatauluun sekä sopi päivän työtehtävät. Aikataulun päivittämisen jälkeen työnjohtaja tiedusteli työmaalla esiintyviä poikkeamia ja kirjasi niitä usein vihkoonsa, mutta joinakin tutkimuspäivinä merkintöjä ei tehty lainkaan. Poikkeamia ei eritelty palaverin aikana, ja niille esitettiin ratkaisu vain, jos sellainen keksittiin keskustelun aikana. Näitä ratkaisuja työnjohtaja ei merkinnyt vihkoonsa. Lisäksi palavereissa ei käytetty nelikenttäanalyysiä, valkotaulua tai muita vastaavia työkaluja.

Aamupalaverin jälkeen aloitettiin työmaakierros, joka kesti 1–1,5 tuntia. Kierros sisälsi mahdolliset haastattelut työnjohtajien ja asentajien kanssa, esivalmisteiden ja asennettujen osien mittauksia, asennusten seurantaa ja raportointia sekä asennettujen kohteiden valokuvaus. Kierroksen jälkeen palattiin takaisin toimistoon ja osallistuttiin työnjohtopalaveriin

Työnjohtopalaveri oli työnjohtajien ja vastaavan työnjohtajan välinen palaveri, johon rakennustyöntekijät eivät osallistuneet. Palaverissa työnjohtajat raportoivat poikkeamista vastaavalle työnjohtajalle, joka kirjasi ne Excel-pohjaiseen poikkeamataulukkoon. Palaverissa kirjattiin ja käsiteltiin sekä aamupalaverissa ilmenneet poikkeamat että työnjohtajien työmaakierroksilla havaitsemat poikkeamat. Nämä työnjohtajien tekemät kierrokset olivat satunnaisia eivätkä säännöllisiä. Työnjohtajat luettelivat poikkeamat joko vihkoistaan tai muistinsa perusteella, eikä poikkeamia eritelty toisistaan.

Kullekin poikkeamalle sovittiin tarvittavat toimenpiteet sen ratkaisemiseksi. Jos aamupalaverissa keksittiin ratkaisu poikkeamaan, se käsiteltiin työnjohtopalaverissa. Mikäli vastaavan työnjohtajan mielestä ratkaisu oli hyväksyttävä, se merkittiin taulukkoon. Muussa tapauksessa lopulliset ratkaisutoimenpiteet sovittiin työnjohtopalaverissa. Kaikki toimenpiteet merkittiin poikkeamataulukkoon. Samalla tarkistettiin, missä vaiheessa edellisen ja aiempien päivien poikkeamien käsittely oli; jos jokin aiempi poikkeama oli ratkaistu, se merkittiin taulukkoon ratkaistuksi. Palavereissa ei käytetty nelikenttäanalyysiä, valkotaulua eikä muita vastaavia työkaluja.

4 Tulokset

4.1 Yhteenveto tuloksista

Alla olevassa taulukossa 3 on merkitty ne päivät, jolloin palavereja pidettiin, sekä se, kirjattiinko esiin nousseet poikkeamat lokiin, ratkaistiinko ne ja kirjattiinko ratkaisutoimenpiteet.

Taulukko 3. Yhteenvetotaulukko tuloksista

	Pidettiinkö palaveri?		Käytettiinkö lokia?		Kirjattiinko poikkeamat lokiin?		Ratkaistiinko poikkeamat?		Merkittiinkö poikkeamien ratkaisut lokiin?	
Tutkimuspäivä	Ap	Tp	Ap	Tp	*Ap	Tp	Ap	Tp	Ap	Tp
09.06	X	X	X	X	X	X	X	X	O	X
10.06	X	X	X	X	X	X	X	X	O	X
11.06	X	X	X	X	X	X	O	X	O	X
12.06	O	X	O	X	O	X	O	X	O	X
13.06	X	X	X	X	X	X	O	X	O	X
16.06	X	O	X	O	X	O	O	X	O	X
17.06	X	X	X	X	X	X	O	X	O	X
18.06	X	X	O	X	O	X	O	X	O	X
19.06	O	X	O	X	O	X	O	X	O	X
23.06	X	X	X	X	X	X	O	X	O	X

X= kyllä, O=ei, Ap=aamupalaveri, Tp=työnjohtopalaveri

*Työnjohtaja kirjasi aamupalavereissa esiin tulleet poikkeamat omaan vihkoonsa eikä viralliseen lokiin.

Taulukosta 3 nähdään, että tutkimusjakson aikana kaikista mahdollisista palavereista pidettiin 85 %. Aamupalavereissa työnjohtaja kirjasi usein esiin nousseet poikkeamat omaan vihkoonsa, mutta vain vastaava työnjohtaja merkitsi kaikki poikkeamat työmaan viralliseen lokiin. Tutkimusjakson aikana kaikki poikkeamat merkittiin viralliseen lokiin työnjohtopalaverissa. Vaikka aamupalavereissa sovittiin ratkaisutoimenpiteistä, työnjohtaja ei kirjannut niitä mihinkään. Sekä aamupalavereissa että työnjohtopalavereissa ei käytetty poikkeamataulukon lisäksi muita työkaluja, kuten valkotauluja tai nelikenttäanalyysiä.

Taulukosta ilmenee, että kahtena ensimmäisenä tutkimuspäivänä aamupalaverissa onnistuttiin ratkaisemaan poikkeamat. Jos ratkaisu löydettiin, se käsiteltiin työnjohtopalaverissa, jossa vastaava työnjohtaja arvioi sen

hyväksyttävyyden. Hyväksytyt ratkaisut merkittiin taulukkoon, ja muissa tapauksissa lopulliset toimenpiteet sovittiin työnjohtopalaverissa. Muina tutkimuspäivinä aamupalavereissa ei joko ilmennyt poikkeamia tai esiin nousseita poikkeamia ei ratkaistu.

Palavereissa ei eritelty poikkeamia toisistaan, jonka takia taulukossa 4 on eritelty poikkeamat toleranssipoikkeamiin ja muihin poikkeamiin.

Taulukko 4. Poikkeamat eriteltynä toleranssipoikkeamiin

Tutkimusjakson aikana esiintyneet poikkeamat	Oliko poikkeama toleranssipoikkeama?	Liittyikö poikkeama esivalmisteisiin? (Jos liittyi, mihin esivalmisteeseen.)
Vesijohtojen eristyksiä ei asennettu aikataulun mukaisesti	O	O
Kylpyhuoneessa IV-natsat olivat liian pitkiä	X	X (IV-natsat)
Tiettyjä tarvikkeita ei ollut saapunut työmaalle	O	O
Vesimittarit oli asennettu eri kohtaan kattoa kuin suunniteltu	X	X (Putkistoesivalmisteet)
Kattopaneelit olivat liian pitkiä	X	X (Kattopaneelit)
Kylpyhuoneiden rättipatterit asennettiin väärän paikkaan	X	X (Rättipatterit)
Epäsiisteys kylpyhuoneissa	O	O
Suihku asennettiin väärään paikkaan	X	X (Suihku)
Tarvikkeiden toimituspoikkeamat	O	O
Aikataulupoikkeamat	O	O
Epätasainen laatoitus	O	O
Huonosti pestyt laatat	O	O
Viemäri asennettu liian alas	X	X (Viemäri)

Taulukko 4. Jatkuu

Taulukko 4. Poikkeamat eriteltynä toleranssipoikkeamiin

Liian kapeat tammikynnykset	X	X (Tammikynnykset)

X= kyllä, O=ei

Taulukosta 4 käy ilmi, että noin puolet tutkimusjakson aikana esiintyneistä poikkeamista olivat toleranssipoikkeamia. Lisäksi taulukosta havaitaan, että kaikki toleranssipoikkeamat liittyivät esivalmisteisiin. Nämä poikkeamat eivät kuitenkaan johtuneet itse esivalmisteista, vaan niiden asennuksesta. Tämä vahvistaa väitteen, että esivalmisteista aiheutuvat toleranssipoikkeamat ovat merkittävä poikkeamien lähde (Alhava ym. 2019).

Alla olevassa taulukossa 5. on esitetty tutkimusjakson aikana esiintyneet toistuvat poikkeamat, niiden toistumiskerrat, laajuus sekä havaintopäivät.

Taulukko 5. Toistuvat poikkeamat

Mikä poikkeama toistui?	Monta kertaa poikkeama toistui?	Poikkeaman laajuus?	Milloin poikkeama havaittiin?	Tehtiinkö poikkeamalle juurisyyanalyysi ensimmäisen kerran?
Vesimittarit olivat asennettu väärään paikkaan.	2 kertaa	4 kylpyhuonetta	1. Toisena tutkimuspäivänä (2 kylpyhuonetta) 2. Viidentenä tutkimuspäivänä (2 kylpyhuonetta)	Ei
Suihku joudut-tiin siirtämään poiketen suunnitelmasta.	2 kertaa	2 kylpyhuonetta	1. Kahdeksantena tutkimuspäivänä (1 kylpyhuone) 2. Yhdeksäntenä tutkimuspäivänä (1 kylpyhuone)	Ei

Taulukosta 5 käy ilmi, että kun vesimittarien asennuspoikkeama ilmeni ensimmäisen kerran, juurisyyanalyysiä ei tehty. Tämän vuoksi tarvittavia toimenpiteitä poikkeaman toistumisen estämiseksi ei toteutettu, ja poikkeama toistui. Vastaavasti, kun suihkun siirtämiseen liittyvä poikkeama esiintyi ensimmäisen kerran, juurisyyanalyysiä ei myöskään tehty, minkä seurauksena sama poikkeama toistui jo seuraavana päivänä toisen suihkun kohdalla. Suihkun siirtämiseen liittyvä poikkeama oli samankaltainen kuin taulukossa 4 mainittu rättipattereiden poikkeama, sillä sekä rättipatterit että suihkut asennettiin suunnitelmista poiketen. Vaikka rättipatteripoikkeama ilmeni ennen suihkuihin liittyvää poikkeamaa ja sen vuoksi ryhdyttiin

ratkaisutoimenpiteisiin, ne eivät estäneet vastaavan poikkeaman toistumista. Tämä osoittaa, ettei rättipattereiden tapauksessa löydetty todellista juurisyytä, minkä vuoksi tehdyt muutokset jäivät riittämättömiksi ja sama poikkeama toistui.

4.2 Ensimmäisen päivän havainnot

4.2.1 Aamupalaverissa esiintyneet poikkeamat

Yksi poikkeama liittyi eristyksiin: vesijohtojen eristyksiä ei asennettu aikataulun mukaisesti. Tämä ei ollut toleranssipoikkeama. Toinen poikkeama liittyi mittapoikkeamaan: kylpyhuoneessa IV-natsat olivat liian pitkiä, minkä vuoksi ne eivät olleet samassa tasossa 1 cm paksujen laattojen kanssa. IV-natsojen tapauksessa työnjohtaja ilmoitti, että uudet natsat tilattaisiin.

4.2.2 Työmaakierroksen havainnot

Aamupalaverin jälkeen aloitin työmaakierroksen. Kierroksen aikana otin kuvia alakattorunkovalmisteesta. Alakattorunkovalmiste koostuu kuvan 1 mukaisesti kahdesta osasta, jotka ruuvataan toisiinsa asennusvaiheessa. Kun osat on ruuvattu yhteen, alakattorunkokokonaisuus asetetaan kattoon siten, että runkoa kannattelevat seiniin ruuvatut kuvan 2 mukaiset kannakkeet. alakattorungon asennusvaiheessa runkoon tehdään kuvan 4 mukaisia koloja huoneiston kylpyhuoneen putkien sijoittelun mukaan. Tavoitteena on, että putket eivät ole suorassa kontaktissa rungon kanssa, vaan asettuvat loveen. Asentaja tekee koloja tarpeen mukaan asennuksen yhteydessä, jolloin rungon paksuus vaihtelee eri kohdissa. Alakattoesivalmisteet vastasivat suunnitelmien mittoja.

Kuva 1. Alakattorunkovalmisteen kaksi osaa

Kuva 2. Kannakkeet

Kuva 3. Alakattorunko asennettuna

Kuva 4. Alakattorunkoon tehdyt kolot

4.2.3 Työnjohtopalaverissa käsitellyt poikkeamat

Työnjohtopalaverissa käsiteltiin vain aamupalaverissa esiin nousseet poikkeamat. Eristyspoikkeaman ratkaisemiseksi sovittiin, että työnjohtaja keskustelisi asiasta työstä vastaavan yrityksen kanssa. IV-natsojen tapauksessa aamupalaverissa tehty työnjohtajan päätös tilata uudet IV-natsat osoittautui vastaavan työnjohtajan mielestä turhaksi, joten toimenpiteeksi sovittiin tarkistaa, voisiko roilotäyttövaunussa käyttää oikean pituisia natsoja. Minkään poikkeaman kohdalla ei tehty juurisyyanalyysiä.

4.3 Toisen päivän havainnot

4.3.1 Aamupalaverissa esiintyneet poikkeamat

Työaikataulukatsauksen aikana ilmeni, että osa työntekijöistä oli aikataulusta jäljessä. Suurin osa palaverissa esiin nousseista poikkeamista liittyi toimituksiin, eli tiettyjä tarvikkeita ei ollut saapunut työmaalle. Tämän vuoksi työnjohtaja ilmoitti tilaavansa puuttuvat tavarat.

4.3.2 Työmaakierroksen havainnot

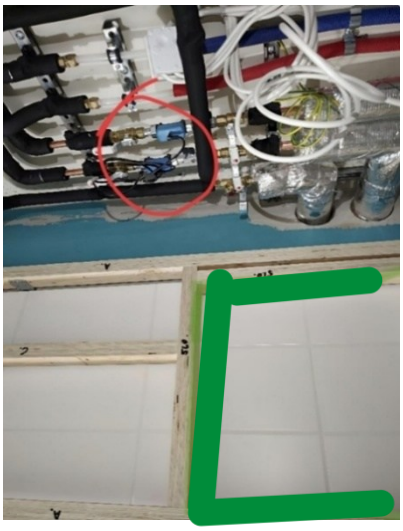
Kierroksen aikana huomasin yhdessä kylpyhuoneessa putkimiehen asentavan putkistoesivalmistetta. Aloin kysellä häneltä putkihajotuksista, ja keskustelun aikana kävi ilmi, että asennusvaiheen alussa – ennen tutkimustyötäni – kerrostalon useiden kylpyhuoneiden seiniin oli tehty putkistoesivalmisteelle tarkoitettuja reikiä väärin. Putkiasentajan mukaan reikien sijainnit

poikkesivat alkuperäisistä suunnitelmista noin 10–50 cm sivusuunnassa tai alaspäin.

Asiasta ilmoitettiin suunnittelijalle ja tehtaalle, minkä vuoksi putkistoesivalmisteet ja niiden asennuskohdat suunniteltiin uudelleen paikan päällä yhteistyössä asentajien kanssa. Keskustelin asiasta myös suunnittelijan kanssa sähköpostitse. Hän kertoi, että saamissani putkistoesivalmistussuunnitelmissa muutoksia ei ollut huomioitu, koska putkien reiät ja putket oli asennettu hyvin mielivaltaisesti. Suunnittelija ei havainnut reikien sijainneissa mitään säännönmukaisuutta. Putkiasentajan mukaan virhe johtui työnjohtajasta, joka merkitsi aukot väärin kohtiin, ja timanttiporaaja porasi aukot annettujen merkintöjen mukaisesti.

Jatkaessani kierrosta huomasin, että kahdessa huoneistossa alakattorunko ei toiminut, sillä vesimittarit oli asennettu eri kohtiin kuin alun perin oli suunniteltu. Alla olevissa kuvissa 5 ja 6 punaisella ympyröidyt kohdat osoittavat, että vesimittarit eivät sijaitse vihreällä merkityn luukun kohdalla, vaan jäävät luukun ulkopuolelle. Kuvassa 6 alakattorunko ei vielä asennettu kattoon kuin kuvan 5 alakattorunko. Kuvassa 7 vesimittarit puolestaan ovat suunnitelman mukaisessa paikassa, jolloin ne jäävät aukon kohdalle.

Kuva 5. Yhdessä huoneistossa vääriin kohtiin asennetut vesimittarit



Kuva 6. Toisessa huoneistossa vääriin kohtiin asennetut vesimittarit.

Kuva 7. Esimerkki huoneiston kylpyhuoneesta, jossa vesimittarit ovat asennettu suunnitelmien mukaisesti.

Molempien poikkeamaa sisältävien huoneistojen kylpyhuoneissa vesimittarit oli asennettu toisiinsa nähden samoihin paikkoihin. Mittaamalla havaitsin, että molempien kylpyhuoneiden vesimittarit poikkesivat suunnitelman mukaisesta sijainnista noin 20 cm.

4.3.3 Työmaakierroksen havainnot

Palaverissa käsiteltiin aamupalaverissa esiintyneet poikkeamat ja muiden työnjohtajien ilmoittamat poikkeamat. Samalla tarkistettiin, että missä tilanteessa edellisen päivän poikkeamat sekä aiemmin päivien poikkeamat ovat.

IV-natsoihin liittyvä mittapoikkeama ratkaistiin siten, että roilotäyttövaunusta saatiin oikeankokoiset natsat, jolloin niitä käytettiin. Aamupalaverissa ilmennyt toimituksiin liittyvät poikkeama kirjattiin poikkeamataulukkoon. Poikkeaman ratkaisemiseksi toimenpiteeksi sovittiin, että korvataan puuttuvat tavarat käsivarastolla olevilla tavaroilla sekä varmistetaan, että puuttuvat tavarat toimitetaan.

Työnjohtaja ilmoitti, että kahden huoneistojen kylpyhuoneisiin vesimittarit oli asennettu eri kohtaan kuin oli suunniteltu, tämän takia alakattoesivalmiste ei sopinut. Asian ratkaisemiseksi toimenpiteeksi sovittiin, että tehtaalta lähetetään uusi alakattorunko työmaalle, joka muokataan työmaalla siten, että luukku on vesimittarien kohdalla. Samalla työnjohtaja totesi, ettei esivalmisteista ole hyötyä, jos työmaalla ei noudateta asennussuunnitelmaa. Tällöin esivalmisteiden tuoma ajan- ja resurssien säästö jää hyödyntämättä.

Poikkeamataulukkoa tutkiessani huomasin myös, että missään vaiheessa ei merkattu, että useiden kylpyhuoneiden seiniin on tehty putkistoesivalmisteelle tarkoitettuja aukkoja vääriin kohtiin. Minkään poikkeaman kohdalla ei suoritettu juurisyyanalyysiä.

4.4 Kolmannen päivän havainnot

4.4.1 Aamupalaverissa esiintyneet poikkeamat

Kokouksessa ilmeni erilaisia poikkeamia, kuten silikonien epäsiisteys kylpyhuoneissa, epätasainen laatoitus sekä huonosti pestyt laatat. Lisäksi havaittiin poikkeama alakattoon kiinnitettäviin paneeleihin liittyen. Alakattoon kiinnitettävien, kuvassa 8 punaisella merkittyjen paneelien päät olivat liian pitkät.

Kuva 8. Kattopaneelit

Paneeleita kiinnitettäessä niiden päät tulee ulottua 1 cm yli alakaton rungosta, jotta varjolistaa kiinnitettäessä lista osuu myös runkoon ja paneelit pysyvät kunnolla paikoillaan. Yhdessä huoneistossa paneelien päät ulottuivat kuitenkin 2,5 cm rungon yli, jolloin varjolistan kiinnitys olisi osunut pelkästään paneeliin eikä runkoon. Tämän seurauksena paneelit eivät olisi pysyneet kunnolla alakaton rungossa.

Poikkeamaa pahensi se, että kyseessä olivat MDF-paneelit, jotka ovat pehmeämpiä kuin puupaneelit. Tällöin varjolistan kiinnittäminen pelkästään paneeliin olisi voinut murentaa sen.

4.4.2 Työmaakierroksen havainnot

Putkistotyyppejä oli kolme. Alla olevassa kuvassa 9 näkyy putkistotyyppi 1. Jokaiselle putkistotyypille on laadittu taulukko, johon on merkitty mittauksen aikana havaitut mittapoikkeamat suunnitelmiin nähden eri osissa. Kuvan 9 alapuolella on taulukko 6, johon merkitty putkistotyypin 1 mittapoikkeamat.

Kuva 9. Putkistotyyppi 1

Taulukko 6. Putkistotyyppi 1: mittapoikkeamat suunnitelmiin nähden eri osissa

Minun mittaamani mitat putkistoesivalmisteen osista, joihin on annettu mitat suunnitelmissa	Suunnitelmissa olevien putkiston osien mitat
650 mm	630 mm
530 mm	570 mm
560 mm	540 mm

Alla olevissa kuvissa 10 ja 11 on kuvattu putkistotyyppi 2. Kuvien alapuolella on taulukko 7, johon merkitty putkistotyypin mittapoikkeamat.

Kuva 10. Putkistotyyppi 2

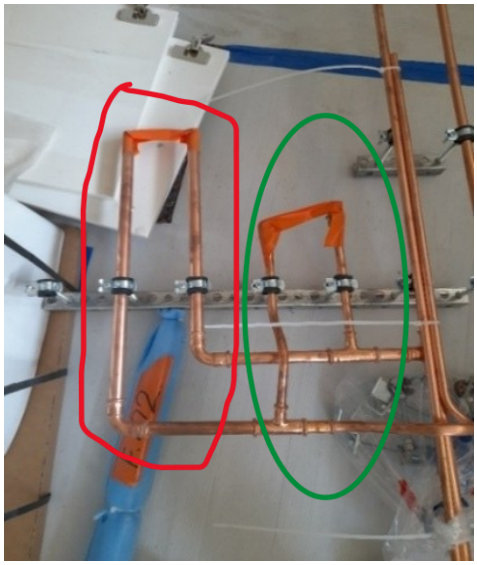
Kuva 11. Putkistotyyppi 2 yläosa

Taulukko 7. Putkistotyyppi 2: mittapoikkeamat suunnitelmiin nähden eri osissa

Minun mittaamani mitat putkistoesivalmisteen osista, joihin on annettu mitat suunnitelmissa	Suunnitelmissa olevien putkiston osien mitat
1140 mm	1532 mm
1050 mm	1139 mm

Alla olevissa kuvissa 12 ja 13 on kuvattu putkistotyyppi 3. Kuvien alapuolella on taulukko 8, johon merkitty putkistotyypin mittapoikkeamat.

Kuva 12. Putkistotyyppi 3



Kuva 13. Putkistotyyppi 3 löytyneet rakenteelliset poikkeamat

Taulukko 8. Putkistotyyppi 3: mittapoikkeamat suunnitelmiin nähden eri osissa

Minun mittaamani mitat putkistoesivalmisteen osista, joihin on annettu mitat suunnitelmissa	Suunnitelmissa olevien putkiston osien mitat
1360 mm	1378 mm
545 mm	550 mm
185 mm	190 mm
565 mm	580 mm

Kaikkien taulukoiden perusteella voidaan todeta, että putkistotyyppien eri osien mitat poikkeavat suunnitelmissa esitetyistä mitoista. Huomasin myös silmin havaittavan mittapoikkeaman putkihajotus 3:ssa. Poikkeama on merkitty kuvaan 13. Kuvassa punaisella merkityt putket ovat selvästi pidempiä kuin viereiset vihreällä merkityt putket. Suunnitelmien mukaan punaisella ympyröidyt putket tulisi kuitenkin olla lyhyempiä kuin vihreällä ympyröidyt. Kyseisten putkien mitat on esitetty suunnitelmissa epäselvästi, minkä vuoksi poikkeaman tarkkaa suuruutta ei ollut mahdollista määrittää.

Kierroksen aikana huomasin, että tehtaalta oli saapunut alakattorunko niihin huoneistoihin, joissa aiemmalla tutkimuspäivällä olin havainnut rungon olevan soveltumaton, koska sen luukku ei asettunut vesimittarien kohdalle. Kuten aiemmin mainitsin, alakattorunko koostuu kahdesta osasta, joista toisessa on vesimittarille tarkoitettu luukku. Tässä osassa puupalkit kiinnitetään rungon sisäpuolelle ruuveilla siten, että ne rajaavat luukun vesimittaria varten. Tehtaalla saapuneessa osassa tätä rajausta ei kuitenkaan ollut tehty. Samassa toimituksessa oli kuitenkin mukana erillisiä palkkeja, jotka timpuri kiinnitti rungon sisäpuolelle, jotta luukku voitiin muodostaa vesimittarien kohdalle. Molemmissa huoneistoissa alakattorunko muokattiin samalla tavalla.

4.4.3 Työnjohtopalaverissa käsitellyt poikkeamat

Pitkien kattopaneelien poikkeaman ratkaisemiseksi sovittiin, että asiasta ilmoitetaan tehtaalle, josta lähetetään sopivan kokoiset paneelit. Kylpyhuoneiden silikonien epäsiisteyteen ei merkitty erillistä ratkaisutoimenpidettä. Epätasaisen laatoituksen ja huonosti pestyjen laattojen osalta ratkaisutoimenpiteeksi merkittiin, että vastaava työnjohtaja reklamoi asiasta. Edellisenä tutkimuspäivänä esille tullut toimituspoikkeama ratkaistiin hyödyntämällä käsivarastossa olevia tuotteita puuttuvien tavaroiden korvaamiseksi, ja poikkeama merkittiin ratkaistuksi poikkeamataulukkoon.

Palaverin aikana havaittiin, että kahden kylpyhuoneen rättipatterit oli asennettu väärään paikkaan. Irrotuksen seurauksena vanhalle paikalle jäi laattoihin näkyviä asennusjälkiä. Sovittiin, että nämä laatat vaihdetaan seuraavan viikon maanantaina (kuudentena tutkimuspäivänä). Poikkeaman syyksi kirjattiin asentajien huolimattomuus huoneistokorttien tarkastamisessa. Työnjohtajat totesivat, että asentajat eivät yleensä tarkista huoneistokortteja riittävän huolellisesti ennen asennusta, ja ilmoittivat, että jatkossa asentajat tarkistaisivat huoneistokortit ennen työn aloittamista. Kehotuksesta ei laitettu merkintää poikkeamataulukkoon.

4.5 Neljännen päivän havainnot

4.5.1 Työmaakierroksen havainnot

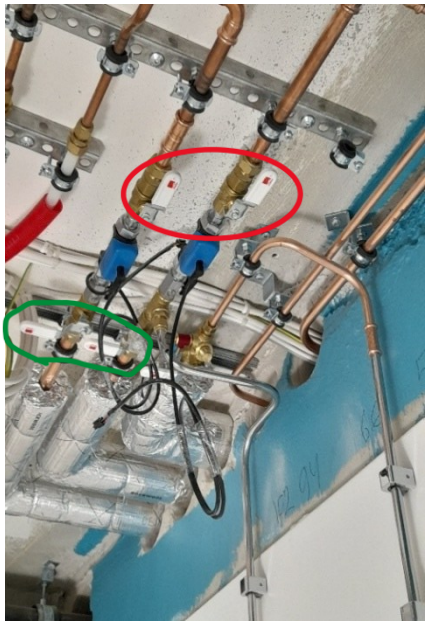
Kyseisenä tutkimuspäivänä tarkistin huoneistoja, joissa putkistoesivalmisteet oli asennettu kylpyhuoneiden kattoon. Aloitin tarkistuksen mittaamalla, kuinka hyvin asennukset vastasivat suunnitelmia. Mittaukset tein kolmessa kylpyhuoneessa, joissa putkistoesivalmisteet oli asennettu kokonaisuudessaan ja joissa odotettiin alakaton asennusta. Kirjasin nämä mittaustulokset erillisiin taulukoihin Kunkin taulukon yläpuolella on kuva vastaavasta kylpyhuoneesta. Ensimmäiseksi alta löytyy kuva 14, jossa on kuvattuna kylpyhuoneen 1. Kuvan alapuolella on taulukko 9, johon merkattu kylpyhuone 1 mittaustulokset.

Kuva 14. Kylpyhuoneessa 1 vihreällä rajatut vesimittarit ovat vierekkäin samassa linjassa toisiinsa nähden

Taulukko 9. Kylpyhuone 1 mittapoikkeamat suunnitelmiin nähden

Mittauskohde	Omat mittaukset:	Suunnitelman mukaiset mittaukset:
Venttiilin (rajattu vihreällä kuvassa 14) etäisyys oven vastakkaisesta seinästä (punainen täplä kuvassa 14)	1425 mm	1260 mm

Kuvasta 14 nähdään, että vesimittarit ja venttiilit ovat suunnitelmien mukaisesti vierekkäin samassa linjassa toisiinsa nähden. Taulukosta 9 nähdään, että asennuksen etäisyys venttiilistä oven vastakkaiselle seinälle poikkeaa suunnitelmista 165 mm eli putkistoesivalmiste oli asennettu 165 mm lähempänä vastakkaista seinää. Itse putkistoesivalmisterakenteessa vesimittarien ja venttiilien sijainnit vastaavat suunnitelmaa. Alla olevassa kuvassa 15 näkyy kylpyhuone 2. Kuvan alapuolella on taulukko 10, johon on merkitty kylpyhuoneen 2 mittaustulokset.



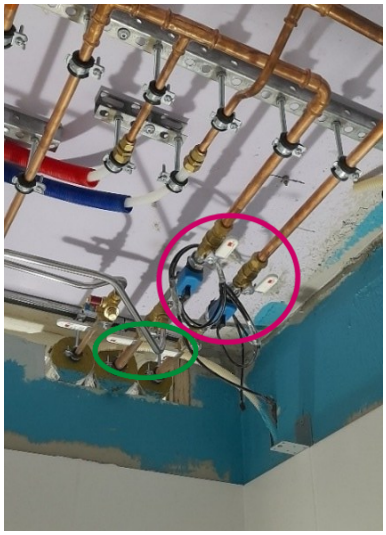
Kuva 15. Kylpyhuoneen 2 punaisella ympyröidyt vesimittarit eivät ole vierekkäin samassa linjassa toisiinsa nähden.

Taulukko 10. Kylpyhuone 2 mittapoikkeamat suunnitelmiin nähden

Mittauskohde	Omat mittaukset:	Suunnitelman mukaiset mittaukset:
Venttiilien etäisyydet oven vastakkaisesta seinästä	1400 mm, 1465 mm	1260 mm
Lähimpänä sivuseinää olevan venttiilin etäisyys sivuseinästä	235 mm	260 mm

Taulukossa 10, otsikon 'Omat mittaukset' alla, merkitsin soluun kaksi arvoa, koska mittarit ja venttiilit eivät olleet vierekkäin samalla linjalla toisiinsa nähden. Venttiilien ja mittarien sijainnit poikkesivat putkiston asennussuunnitelmasta, eikä vesimittarikokonaisuus asettunut suunnitellusti. Kuvassa 15 punaisella ympyröidyt venttiilit sijaitsevat eri linjassa kuin suunnitelman vihreällä ympyröidyt venttiilit, jotka olisi pitänyt sijoittaa punaisella ympyröityjen venttiilien kohdalle. Näin olisi saatu yksi mittatulos sen sijaan, että tarvittiin kaksi, koska venttiilien etäisyydet mitataan samasta alkupisteestä. Itse mittasin etäisyyden suunnitelman mukaisesta sijainnista.

Koska venttiilit eivät olleet samalla linjalla ja niiden etäisyydet poikkesivat toisistaan, mittauksista saatiin kaksi eri tulosta. Vihreällä ympyröidyt venttiilit sijaitsivat 1240 mm oven vastakkaisesta seinästä. Suunnitelman mukaisista mittauskohdista mitattuna yhden venttiilin etäisyys oli 1400 mm ja toisen 1465 mm, eli toinen venttiileistä sijaitsi 65 mm lähempänä seinää kuin toinen. Sama ero näkyi myös vesimittarien välisessä etäisyydessä. Alla olevassa kuvassa 16 on kylpyhuoneen kuva. Kuvan alapuolella on taulukko 11, johon on merkattu kylpyhuoneen 3 tulokset.



Kuva 16. Kylpyhuoneen 3 vesimittarit eivät ole vierekkäin samassa linjassa toisiinsa nähden.

Taulukko 11. Kylpyhuone 3 mittapoikkeamat suunnitelmiin nähden

Mittauskohde	Omat mittaukset:	Suunnitelman mukaiset mittaukset:
Venttiilien etäisyydet ovesta	500 mm, 565 mm	525 mm

Taulukossa 11, otsikon ”Omat mittaukset” alla, merkitsin taulukon 8 tavoin kaksi tulosta, koska mittarit ja venttiilit eivät olleet vierekkäin samalla linjalla toisiinsa nähden. Kylpyhuoneessa 3 (kuva 16) venttiilien ja mittarien sijainnit poikkeavat putkiston asennussuunnitelmasta, eikä vesimittarikokonaisuus asetu oikein. Punaisella ympyröidyt venttiilit on asennettu väärään paikkaan; vihreällä ympyröidyt venttiilit olisi pitänyt sijoittaa niiden kohdalle. Tämän takia mittauksista saatiin kaksi eri tulosta: etäisyys yhdestä venttiilistä oven vastakkaiseen seinään oli 500 mm ja toisesta 565 mm.

Koska mittauksen aikana kävi ilmi, että putkistoesivalmisteissa vesimittarikokonaisuuden sijainti ei ollut suunnitelman mukainen, päätin tarkistaa muiden kylpyhuoneiden putkistoesivalmisteiden asennukset. Yhteensä kymmenen tarkistetun kylpyhuoneen putkistoesivalmisteista kahdeksassa vesimittarikokonaisuus ei ollut asettunut oikein, mukaan lukien aiemmin mittaamani asennukset. Ainoastaan kahdessa putkistoesivalmisteessa vesimittarikokonaisuus oli sijoittunut suunnitelman mukaisesti. Nämä poikkeamat eivät kuitenkaan vaikuttanut alakattorungon asennukseen, täten niillä ei ollut vaikutus työn etenemisen kannalta.

4.5.2 Työnjohtopalaverissa käsitellyt poikkeamat

Palaverissa käsiteltiin joitakin aikatauluun liittyviä poikkeamia, joille ei kuitenkaan merkitty toimenpiteitä. Pitkien kattopaneelien osalta poikkeama ratkaistiin ilmoittamalla asiasta tehtaalle, josta lähetettiin sopivan kokoiset paneelit. Epätasaisen laatoituksen ja huonosti pestyjen laattojen poikkeamat merkittiin ratkaistuiksi poikkeamataulukkoon. Väärään paikkaan asennetuista vesimittareista aiheutunut alakattorunkoon liittyvä poikkeama ratkaistiin tilaamalla tehtaalta uusi alakattorunko, joka muokataan siten, että luukku sijoittuu vesimittarien kohdalle. Myös tämä poikkeama merkittiin ratkaistuksi poikkeamataulukkoon. Minkään poikkeaman kohdalla ei suoritettu juurisyyanalyysiä.

4.6 Viidennen päivän havainnot

4.6.1 Aamupalaverissa esiintyneet poikkeamat

Palaverissa ilmeni useita poikkeamia, kuten liian kapeina tilatut tammikynnykset sekä se, että eristäjä ei saapunut eristämään putkihajotuksia. Lisäksi esiin nousi aikataulupoikkeamia katon putkihajotuksen ja pintakromivaunun osalta. Näiden vuoksi työnjohtaja päätti yhdessä työntekijöiden kanssa ottaa poravaunut käyttöön, jotta katon putkihajotus ja pintakromivaunun asennus pysyvät aikataulussa.

4.6.2 Työmaakierroksen havainnot

Aloitin kierroksen eri huoneistojen kylpyhuoneista ja tarkastelin kattoon asennettujen putkistojen putkikannakkeita. Keskustelin asiasta putkiasentajan kanssa, ja hän kertoi, että putkikannakkeiden korkeus määräytyy eteisestä kylpyhuoneeseen tulevan putken sijainnin mukaan. Kyseisestä putkesta aloitetaan koko kattoa kattavan putkistoesivalmisteen asentaminen. Mitä alempana tämä putki sijaitsee, sitä suurempi on tarvittavan putkikannakkeen korkeus. Putkiasentajan mukaan putkikannakkeiden ideaalikorkeus olisi 6,5 cm, sillä mitä lyhyempi korkeus on, sitä helpompi on asentaa alakattorunko ja sitä vähemmän runkoon tarvitsee tehdä loivennuksia. Tämän jälkeen aloin mitata putkikannakkeiden korkeuksia eri huoneistojen kylpyhuoneissa.

Alapuolella olevassa kuvassa 17 nähdään punaisella ympyröitynä putkikannake, jonka korkeus on 6,5 cm. Kuvan alapuolella olevasta taulukosta 12 nähdään, että putkikannakkeiden korkeudet vaihtelevat välillä 6,5–11,5 cm. 60 % mitattujen huoneistojen kylpyhuoneiden putkikannakkeista on korkeudeltaan 6,5 cm, eli suurimmassa osassa korkeus on ihanteellinen. Toiseksi yleisin korkeus on 11,5 cm.

Kuva 17. Tässä punaisella ympyröidyn putkikannakkeen korkeus on 6,5 cm.

Taulukko 12. Putkikannakkeiden korkeudet

Huoneiston numero	Putkikannakkeen korkeus
101	6.5 cm
102	11.5 cm
103	6.5 cm
105	6.5 cm
106	11.5 cm
107	6.5 cm
109	6.5 cm
110	11.5 cm
111	8 cm
112	6.5 cm

Mittauksien jälkeen tapasin työpäällikön, joka kierteli työmaalla. Keskustelin hänen kanssaan siitä, kuinka useiden kerrostalon kylpyhuoneiden seiniin oli aiemmin tehty putkistoesivalmistetta varten aukkoja vääriin kohtiin, poiketen alkuperäisistä suunnitelmista. Keskustelussa kävi ilmi, että samanlainen virhe oli tapahtunut myös edellisellä työmaalla. Kuten aiemmin mainitsin, tätä virhettä ei kuitenkaan ollut kirjattu nykyisen työmaan poikkeamalokiin. Asiasta oli keskusteltu ainoastaan suullisesti, jotta vastaavaa virhettä ei toistuisi saman työmaan toisessa kerrostalossa, joka oli vielä purkuvaiheessa.

4.6.3 Työnjohtopalaverissa käsitellyt poikkeamat

Palaverin aikana työnjohtaja ilmoitti, että kaksiohuoneistojen kylpyhuoneiden vesimittarit oli asennettu vääriin paikkoihin. Lisäksi hän kertoi, että

yhdessä kaksion kylpyhuoneessa viemäri oli asennettu liian alas. Kullekin poikkeamalle sovittiin ratkaisevat toimenpiteet: tammikynnyksiä koskevassa tapauksessa päätettiin tilata oikeankokoiset kynnykset, ja sekä vesimittareiden että liian alas asennetun viemärin osalta poikkeamat päätettiin ratkaista muokkaamalla alakattorunkoa. Palaverissa käytiin myös yleisesti läpi työmaa-aikataulu ja sitä sovitettiin tarpeen mukaan. Minkään poikkeaman kohdalla ei suoritettu juurisyyanalyysiä.

4.7 Kuudennen päivän havainnot

4.7.1 Aamupalaverissa esiintyneet poikkeamat

Poikkeamia ei ilmennyt, joten palaveri painottui enemmän työaikataulun tilannekatsaukseen. Palaverin aikana kävi ilmi, että monessa työvaiheessa oltiin aikataulusta jäljessä.

4.7.2 Työmaakierroksen havainnot

Kierroksella kävin kaksiohuoneiston kylpyhuoneessa, jossa viemäri oli edellisenä päivänä mainitusti asennettu liian alas. Alla olevasta kuvasta 18 näkyy, että viemäri on niin alhaalla, ettei sen ja alla olevan laatan välillä ole lainkaan väliä. Tällöin alakaton asentaminen ei olisi ollut mahdollista.

Kuva 18. Liian alas asennettu viemäri

Keskustellessani työnjohtajan kanssa hän mainitsi, että viemärin alkukohdan tulisi olla 6,8 cm laatan yläpuolella, jotta alakaton runko voitaisiin asentaa ilman muokkauksia ja asennus sujuisi poikkeamitta. Tämän jälkeen menin muiden huoneistojen kylpyhuoneisiin mittamaan viemärin ja laatan tilaa. Alla olevasta taulukosta 13 voidaan päätellä, että kaikissa mitatuissa huoneistojen kylpyhuoneissa viemärin ja laatan välinen tila on alle 6,8 cm. Tämä

tarkoittaa, että näissä kylpyhuoneissa alakattorungon asentaminen saattaa vaatia rungon muokkaamista. Tyypillinen muutos on esimerkiksi loivennusten tekeminen runkoon, jotta putket tai viemäri eivät painautuisi suoraan sitä vasten. Kuvassa 19 on kuvattu huoneiston 107 kylpyhuoneen viemärin etäisyys laatasta.

Kuva 19. Laatan ja viemärin välinen etäisyys on 2,5 cm.

Taulukko 13. Viemärin ja laatan välinen tila

Huoneiston numero	viemärin ja laatan välinen tila
101	5.5 cm
102	5.5 cm
103	5 cm
105	4 cm
107	2.5 cm

Kierroksen aikana kävin tarkistamassa kaksiohuoneistot, joissa vesimittarit oli asennettu väärään paikkaan. Tämän vuoksi alakattorungon valmisteita ei voitu käyttää. Poikkeama ratkaistiin samalla tavalla kuin edellisellä kerralla: tehtaalla saapuneeseen alakattorungon osaan ei ollut tehty vesimittariluukkua varten tarvittavaa rajausta. Samassa toimituksessa oli kuitenkin mukana erillisiä palkkeja, jotka timpuri kiinnitti rungon sisäpuolelle, jotta luukku voitiin muodostaa vesimittarien kohdalle. Alla olevassa kuvassa 20 näkyy yhtä kylpyhuonetta varten työmaalla muokattu alakattorungon osa, jossa on luukku.

Kuva 20. Muokatun alakattorungon ympyröidyssä kohdassa ruuvi on mennyt sivusta läpi.

Mittauksen jälkeen menin tarkistamaan, oliko kolmantena tutkimuspäivänä mainittujen kylpyhuoneiden yhteensä neljä laattaa vaihdettu. Huomasin, että asentaja oli vaihtamassa niitä yhdessä kylpyhuoneessa. Kierroksen aikana en löytänyt mitään muita poikkeamia.

Työnjohtopalaveria ei järjestetty, koska vastaava työnjohtaja oli poissa. Näin ollen poikkeamia kirjaavaa poikkeamataulukkoa ei päivitetty kyseisenä päivänä.

4.8 Seitsemännen päivän havainnot

4.8.1 Aamupalaverissa esiintyneet poikkeamat

Palaverin alussa keskusteltiin yleisesti työturvallisuudesta, sillä työmaalla oli havaittu puutteita suojakypärien ja -lasien käytössä. Työnjohtaja muistutti työntekijöitä suojavarusteiden käytön tärkeydestä ja kävi läpi lakipykäliä, jotka edellyttävät suojakypärän käyttöä työmailla. Hän korosti myös, että suojavarusteiden laiminlyönti voi johtaa sakkoihin. Tämän jälkeen työnjohtaja alkoi tiedustelemaan työmaalla ilmenneistä poikkeamista. Palaverissa ilmeni useita poikkeamia, kuten se, että maalitavarat eivät olleet saapuneet työmaalle ja että työmaalta puuttui valaisimia.

4.8.2 Työmaakierroksen havainnot

Työmaakierroksen aikana menin tarkistamaan, missä tilanteessa on huoneiston kylpyhuone, jossa viemäri oli asennettu liian alas. Mentyäni kyseiseen kylpyhuoneeseen näin kuvan 21 mukaisesti sen, että viemäristä leikattiin kuvan 22 mukaista eristevillaa pois niin, että viemärin alkukohdan ja

laatan välillä olisi tilaa. Kuvassa 23 huomataan muokattu alakattorunko viemäriä varten. Alakattorunkoon tehtiin loivennus siihen kohtaan, johon viemäri asettuu. Mittasin viemärin ja laatan välisen tilan korjauksen jälkeen. Sain mitaksi 2 cm.

Kuva 21. Liian alas asennetun viemärin tilanne

Kuva 22. Muokattu alakattorunko

Kuva 23. Eristevilla

Samalla kävin tarkistamassa ne kylpyhuoneet, joissa laattojen vaihto oli tarpeen väärin asennetun rättipatterin vuoksi. Huomasin, että molempiin kylpyhuoneisiin oli vaihdettu asennusjälkiä sisältävät laatat ja rättipatterit oli asennettu oikeaan paikkaan.

4.8.3 Työnjohtopalaverissa käsitellyt poikkeamat

Vääriin paikkoihin asennetuista vesimittareista aiheutunut alakattorunkoon liittyvä poikkeama ratkaistiin siten, että tehtaalta tilattiin uusi alakattorunko, joka muokataan työmaalla niin, että luukku sijoittuu vesimittarien kohdalle. Liian alas asennetusta viemäristä aiheutunut poikkeama ratkaistiin siten, että viemärin eristevillaa leikattiin niin, että laatan ja viemärin väliin jäi tilaa, ja samalla muokattiin alakattorunkoa tekemällä siihen loivennus viemäriä varten. Molemmat poikkeamat merkittiin ratkaistuiksi poikkeamataulukkoon. Samalla myös kolmantena tutkimuspäivänä ilmi tullut kylpyhuoneiden laattoihin liittyvä poikkeama merkittiin ratkaistuksi. Minkään poikkeaman kohdalla ei tehty juurisyyanalyysiä.

4.9 Kahdeksannen päivän havainnot

4.9.1 Aamupalaverissa esiintyneet poikkeamat

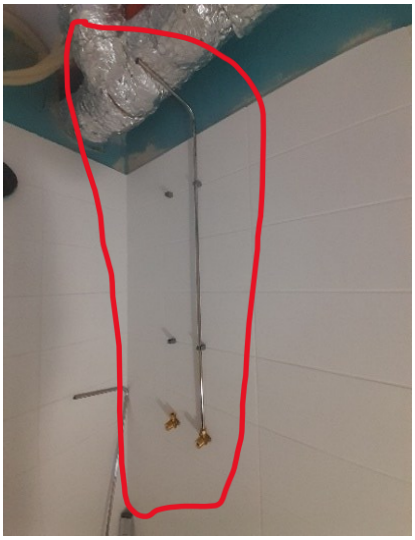
Palaverin alussa keskusteltiin yleisesti työturvallisuudesta. Tämän jälkeen työnjohtaja alkoi tiedustelemaan työmaalla ilmenneistä poikkeamista. Yksi työntekijöistä ilmoitti, että yhdessä huoneistossa suihkun sijaintia siirrettiin, koska suihkua varten suunniteltujen IV-venttiilien sijainnit poikkesivat suunnitellusta viidellä senttimetrillä. Tämän vuoksi suihku siirrettiin viisi senttimetriä sivuun venttiilien kohdalle. Työnjohtaja ei merkinnyt poikkeamaa vihkoonsa. Muita poikkeamia ei esiintynyt.

4.9.2 Työmaakierroksen havainnot

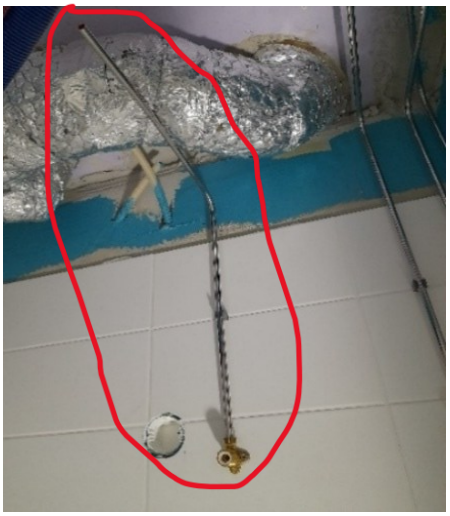
Työmaakierroksessa menin tarkastamaan huoneistoa, jossa suihku oli siirretty. Huoneistokortin ja mittanauhan avulla varmistin, että siirto oli viisi senttimetriä. Tämän jälkeen menin tutustumaan huoneistojen kylpyhuoneiden pintakromeihin. Keskustelleessani putkiasentajan kanssa pintakromeista. Keskustelun aikana kävi ilmi, että asennusvaiheessa tehtaalta saapuvia pintakromeja saatetaan tarvittaessa muokata työmaalla leikkaamalla, jotta ne eivät osu katossa kulkeviin putkiin ja viemäreihin. Tämän vuoksi ne voivat olla lyhyempiä kuin alkuperäiset, tehtaalta toimitetut pintakromit. Leikattava osuus riippuu pitkälti huoneiston kylpyhuoneen katossa olevien putkien ja viemärien sijainnista sekä niiden asennuskorkeudesta. Leikattava osuus voi olla jopa yli 10 cm. Tehtaalta toimitetaan myös pitkiä, taivuttamattomia pintakromeja mahdollisia suunnitelmamuutoksia varten. Tällöin putket taivutetaan työmaalla.

Suunnitelmissa oli merkitty mitat eri pintakromeille. Suunnitelmien perusteella mittasin näitä eri pintakromeja yhdessä kylpyhuoneessa ja vertasin niiden mittoja suunnitelmiin. Nämä pintakromit on kuvattu seuraavilla kuvilla:

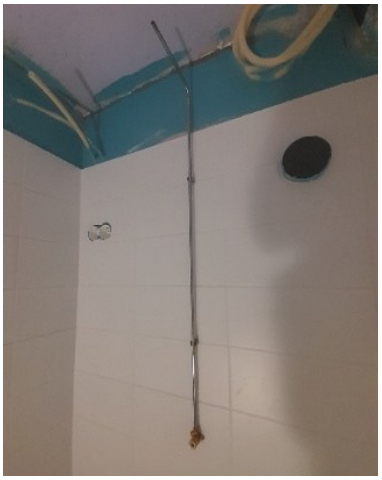
kuvassa 24 on pintakromi 1, kuvassa 25 pintakromi 2 ja kuvassa 26 pintakromi 3. Kuvien olevan taulukon 14 perusteella voidaan päätellä, että pintakromien 1 ja 3 mitat vastasivat suunnitelmia. Pintakromi 2:n mitat poikkesivat suunnitellusta. Mahdollinen syy poikkeamaan on se, että liian pitkä pintakromi olisi johtanut siihen, että sen taivutus olisi jäänyt viemärin yläpuolelle. Tämän estämiseksi pintakromia lyhennettiin, minkä seurauksena taivutus sijoittui viemärin kohdalle.



Kuva 24. Punaisella ympyröity pintakromi 1



Kuva 25. Punaisella ympyröity pintakromi 2



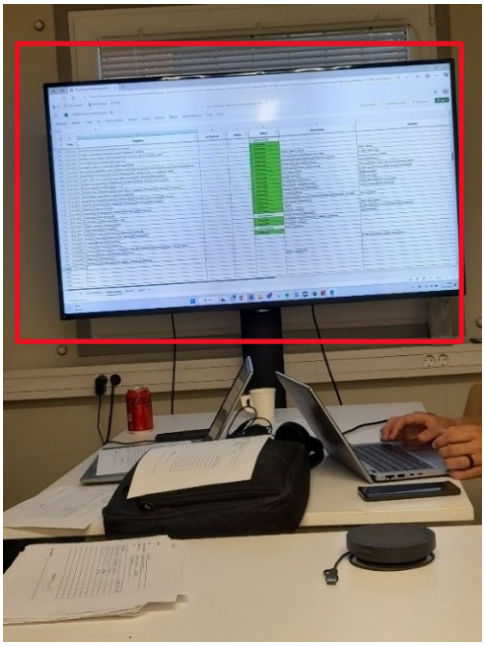
Kuva 26. Pintakromi 3

Taulukko 14. Pintakromien mitat

Pintakromit	Minun mittaamani mitat	Suunnitelmien mukaiset mitat
Pintakromi 1	1280 mm, 240 mm	1280 mm, 240 mm
Pintakromi 2	565 mm, 510 mm	705 mm, 490 mm
Pintakromi 3	2390 mm	2390 mm

4.9.3 Työnjohtopalaverissa käsitellyt poikkeamat

Palaverissa käytettiin kuvan 27 esittämää suurta näyttöä, jolle vastaava työnjohtaja heijasti poikkeamataulukon. Aamupalaverissa käsitelty suihkuun liittyvä poikkeama ja sen ratkaisu merkittiin taulukkoon, ja kaikki edellisen päivän poikkeamat kirjattiin ratkaistuiksi. Ne liittyivät pääasiassa resurssipulaan. Seuraavaksi tarkasteltiin tämän ja edellisten kahden tutkimuspäivän (viidennen ja seitsemännen) aikana esiin nousseita poikkeamia ja niiden syitä. Väärään paikkaan asennettujen vesimittarien kohdalla todettiin, että asennus oli tehty ohjeiden vastaisesti. Liian alas asennetun viemärin tapauksessa syytä ei erikseen kirjattu, vaan ainoastaan todettiin, että viemäri oli asennettu liian alas. Siirretyn suihkun osalta syyksi merkittiin, että IV-venttiiliä ei ollut asennettu huoneistokortin mukaisesti. Kapeiden tammikynnyksien kohdalla puolestaan todettiin, että ne oli tilattu virheellisesti. Muiden poikkeamien syyt esitettiin hyvin niukasti. Kaikkien poikkeamien syyt kirjattiin taulukkoon juurisyinä. Lopuksi tarkasteltiin työaikataulua ja päivitettiin se vastaamaan nykytilannetta.



Kuva 27. Kuvassa punaisella rajattu työnjohtopalaverissa käytetty näyttö. Näytössä näkyy poikkeamataulukko.

4.10 Yhdeksännen päivän havainnot

4.10.1 Työmaakierroksen havainnot

Työmaakierroksen aikana seurasin missä vaiheessa eri huoneistojen kylpyhuoneet ovat. Kahdessa ylimmässä kerroksessa kaikkien huoneistojen

kylpyhuoneet olivat joko valmiita tai viimeistelyvaiheessa. Kolmannen kerroksen huoneistojen kylpyhuoneista suurimpaan osaan oli jo asennettu alakattorunko, ja sähköhajotus oli tehty. Toisessa ja ensimmäisessä kerroksessa kylpyhuoneiden kattoihin ei ollut vielä asennettu alakattorunkoa, vaan ainoastaan putkistot ovat asennettu kattoihin.

Kierroksen aikana löysin yhdestä huoneistosta kuvan 28 mukaisen levyn, josta leikattiin kipsineliöitä. Nämä kipsineliöt asennettiin eteisen kattoon. Kuvan 29 mukaisen eteisen katossa oli putkia, jotka suuntasivat kohti kylpyhuonetta. Kipsilevyyn merkityt mitat ja apuviivat vastasivat suunnitelman mukaisia kipsineliön mittoja. Kierroksen aikana en löytänyt mitään poikkeamia.

Kuva 28. Kipsilevyyn on merkitty leikkausviivat, joiden mukaan siitä leikataan sopivan kokoisia paloja eteisen kattoon asennettavaksi.

Kuva 29. Eteisen katto, johon asennetaan kipsineliöstä leikatut palat.

4.10.2 Työnjohtopalaverissa käsitellyt poikkeamat

Palaverissa poikkeamaksi ilmoitettiin, että yhdessä kylpyhuoneessa suihkua ei voida asentaa suunnitelman mukaiseen paikkaan. Ratkaisutoimenpiteeksi merkittiin suihkun siirtäminen. Poikkeama kirjattiin poikkeamataulukkoon ja merkittiin saman tien ratkaistuksi. Toinen esille tullut poikkeama koski putkiasentajaresurssia, ja sekin merkittiin poikkeamataulukkoon. Edellisellä päivällä merkitty henkilöresursseihin liittyvä poikkeama merkittiin ratkaistuksi. Minkään poikkeaman kohdalla ei suoritettu juurisyyanalyysiä.

4.11 Viimeisen päivän havainnot

4.11.1 Aamupalaverissa esiintyneet poikkeamat

Palaverin alussa työnjohtaja totesi, että työaikataulun tilanne vaikutti olevan hyvä. Palaverin aikana ei tullut ilmi mitään uusia poikkeamia.

4.11.2 Työnjohtopalaverissa käsitellyt poikkeamat

Työmaakierroksen aikana en löytänyt mitään poikkeavaa, jonka takia palasin takaisin osallistumaan työnjohto palaveriin. Palaverissa käytettiin isoa näyttöä, jolle vastaava työnjohtaja heijasti poikkeamataulukon. Taulukkoon merkittiin muun muassa seuraavia poikkeamia: porrashuoneessa oli pölyä, eteisessä oli purkamatta verhokiskoja ja roilojen merkinnöissä esiintyi epäselvyyksiä. Edellisen päivän poikkeamat oli jo ratkaistu. Minkään poikkeaman kohdalla ei suoritettu juurisyyanalyysiä.

5 Pohdinta

5.1 Päivittäisjohtamisen toteutus

Kirjallisuuden mukaan päivittäisjohtaminen määritellään lyhyiksi, yleensä 5–20 minuuttia kestäviksipalavereiksi, joissa rakennustiimi käy läpi työn etenemisen, asettaa päivän tavoitteet, seuraa aikataulua ja puuttuu nopeasti poikkeamiin ennen kuin ne vaarantavat tavoitteiden saavuttamisen (LCI, 2023; Jimenez ym. 2020; ThinkProductive, 2018). Tutkimuksessa aamupalavereihin osallistuivat työnjohtaja ja työntekijät. Työnjohtaja tarkasteli aikataulua, seurasi töiden etenemistä ja kysyi työntekijöiden työvaiheista. Vastauksien perusteella hän päivitti aikataulua, sopi päivän tehtävät ja kirjasi poikkeamat, joita pyrittiin ratkaisemaan heti palaverin aikana. Näin voidaan todeta, että aamupalaverissa toteutui kirjallisuudessa kuvatun päivittäisjohtamisen keskeiset piirteet.

Kirjallisuuden mukaan päivittäisjohtaminen koostuu neljästä osa-alueesta: viestinnästä, keskeisten suorituskykymittareiden visualisoinnista, poikkeamanratkaisusta ja prosessinhallinnasta (Bertagnolli, 2018). Viestinnän parantaminen ja poikkeamien ratkaisu edellyttävät työntekijöiden ratkaisukeskeistä asennetta (Paezy ym. 2005). Tutkimusjakson aamupalaverit tukivat erityisesti viestintää työnjohtajien ja työntekijöiden välillä, sillä työnjohtaja kävi asiat systemaattisesti läpi, kuunteli aktiivisesti työntekijöiden näkemyksiä poikkeamien ratkaisuista ja selitti tarvittaessa epäselvät kohdat.

Kirjallisuudessa korostetaan, että päivittäisjohtaminen lisää läpinäkyvyyttä, sillä suorituskyvyn ja prosessien visualisointia tukevat työkalut, kuten työntekijä- ja viestintätaulut, auttavat tunnistamaan poikkeamat ajoissa ja tehostavat viestintää (Hofacker ym. 2010). Tutkimuksessa tällaisia työkaluja ei kuitenkaan ollut käytössä, vaan työnjohtajalla oli käytössään ainoastaan tietokone, josta hän seurasi työaikataulua. Työntekijät eivät siten usein tienneet, olivatko he aikataulussa, vaan työnjohtaja ilmoitti sen heille tarkistettuaan aikataulun koneelta. Läpinäkyvyyttä olisi voitu parantaa esimerkiksi näyttämällä työaikataulu suurelta näytöltä koko tiimille.

Tyypillisenä tutkimuspäivänä aamupalaverin jälkeen pidettiin työnjohtopalaveri, johon osallistuivat vastaava työnjohtaja sekä muut työnjohtajat. Työnjohtopalaverit täydensivät aamupalavereja ja toimivat jatkumona raportoinnissa, sillä päivän aikana työnjohtajien ilmoittamat poikkeamat kirjattiin viralliseen lokiin. Samalla päätettiin poikkeamien ratkaisuista ja kirjattiin myös ne lokiin. Aamupalaverien tavoin työnjohtopalavereissa ei käytetty visuaalisia työkaluja. Niiden käyttö ei olisi kuitenkaan tuonut lisäarvoa, sillä

osallistujia oli vähän ja palaverit keskittyivät lähinnä poikkeamien raportointiin sekä lyhyisiin keskusteluihin ratkaisukeinoista.

Aamu- ja työnjohtopalaverien muodostamaa päivittäisjohtamisen kokonaisuutta tarkasteltaessa voidaan todeta, että neljästä osa-alueesta parhaiten toteutuivat viestintä ja poikkeamanratkaisu. Aamupalaverissa esiin nousseet poikkeamat välitettiin järjestelmällisesti työnjohtopalaveriin, jossa sovitut ratkaisut puolestaan tiedotettiin takaisin työntekijöille. Viestintäketju oli näin yksinkertainen ja tehokas, yhdistäen kaikki rakennusprosessin osapuolet. Heikoimmin toteutui suorituskykymittareiden visualisointi: erityisesti aamupalavereissa, joissa oli mukana rakennustyöntekijöitä, ei hyödynnetty visuaalisia työkaluja, joiden avulla olisi voitu havainnollistaa esimerkiksi aikataulussa pysymistä tai työtehtävien sijaintia. Tällaiset työkalut olisivat voineet selkeyttää työntekijöiden käsitystä aikataulusta ja lisätä palaverien läpinäkyvyyttä.

5.2 Poikkeamien raportoinnissa esiintyneet heikkoudet

Poikkeamien raportointi riippui kuitenkin vahvasti tiettyjen henkilöiden läsnäolosta, mikä muodosti riskitekijän raportoinnin kannalta. Jos aamupalaveria pitänyt työnjohtaja ei ollut paikalla, palaveria ei järjestetty, ja mahdolliset poikkeamat jäivät työnjohtopalaverissa raportoimatta. Vastaavasti, jos vastaava työnjohtaja ei ollut paikalla, päivän aikana havaitut poikkeamat eivät dokumentoitu viralliseen poikkeamalokiin. Nämä tilanteet ovat epätoivottuja, sillä niiden seurauksena osa poikkeamista saattaa jäädä huomiotta ja ratkaisematta, mikä lisää niiden kertymisen riskiä (Alhava ym. 2024). Kuitenkin tutkimusjakson aikana tällaisissa tilanteissa ei havaittu poikkeamia raportoitavaksi.

Kirjallisuuskatsauksessa todettiin, että raportoitujen poikkeamien käsittely ilman systemaattista dokumentointia estää toistuvien poikkeamien tunnistamisen, juurisyihin puuttumisen sekä organisaation oppimisen. Tutkimusjakson aikana havaittiin, että poikkeamataulukosta puuttui merkintä ennen tutkimusjaksoa tapahtuneesta poikkeamasta, jossa useiden kylpyhuoneiden seiniin oli tehty putkistoesivalmisteille tarkoitetut aukot väärin, vaikka sama poikkeama oli esiintynyt myös aiemmassa työmaakohteessa. Tästä voidaan päätellä, että organisaation oppiminen ei toteutunut ja poikkeama siirtyi kohteesta toiseen. Koska tätä poikkeamaa ei kirjattu tässä kohteessa, on mahdollista, että samaa poikkeamaa ei kirjattu myöskään aiemmassa kohteessa. Tutkimusjakson aikana tätä ei kuitenkaan voitu varmistaa.

Tutkimusjakson aikana poikkeamat dokumentoitiin säännöllisesti, mutta niille ei tehty juurisyyanalyysiä. Lokikirjaan kirjatut syyt olivat todellisuudessa välittömiä syitä, eivät varsinaisia juurisyitä, vaikka ne merkittiin

sellaisiksi. Nämä syyt olivat usein pinnallisia tai puutteellisia, minkä vuoksi taustalla olevaa tekijää tai varsinaista aiheuttajaa ei voitu tunnistaa. Esimerkiksi poikkeamissa, joissa viemäri oli asennettu liian alas ja vesimittarit väärään paikkaan, syyksi kirjattiin ainoastaan "asennettu liian alas" viemärin kohdalla ja "asennettu ohjeistuksen vastaisesti" vesimittareiden kohdalla. Suihkujen ja rättipatterien poikkeamissa puolestaan todettiin vain, että huoneistokorttia ei ollut huomioitu. Näille välittömille syille sovittiin ja kirjattiin ratkaisutoimenpiteet, joiden avulla työn jatkuminen onnistui. Koska juurisyyanalyysiä ei tehty, toimenpiteet eivät kuitenkaan riittäneet estämään poikkeamien toistumista.

Syiden puutteellinen tai pintapuolinen raportointi johtui siitä, ettei juurisyiden analysointiin käytetty aikaa, vaan jokaiselle poikkeamalle merkittiin vain välitön syy ja siirryttiin nopeasti seuraavaan. Alhavan ym. (2024) tutkimus osoittaa, että päivittäisjohtamisessa juurisyitä ei yleensä käsitellä, koska niiden ratkaisemiseen ei varata riittävästi aikaa.

Juurisyiden tunnistaminen ja ratkaiseminen on olennaista, jotta vastaavat poikkeamat eivät toistuisi tulevissa työtehtävissä (Alhava ym. 2024; Fauchier & Alves, 2013). Koska juurisyitä ei usein haluta tunnistaa tai ratkaista, ja ajan puutteen vuoksi, poikkeamiin vastataan usein vain väliaikaisin toimin, jotta työ voi jatkua (Alhava ym. 2024), eikä pysyviä muutoksia tehdä poikkeamien toistumisen estämiseksi. Tutkimusjakson aikana samankaltaiset poikkeamat toistuivat, koska juurisyyanalyysiä ei tehty eikä niiden ehkäisemiseksi toteutettu pysyviä muutoksia toimintaan.

Tosin kolmantena tutkimuspäivänä esiin nousseessa väärin asennettujen rättipattereiden poikkeamassa oltiin lähellä löytää juurisyy, sillä poikkeamaa analysoitiin tarkemmin ja todettiin, että rakennustyöntekijät eivät olleet noudattaneet huoneistokorttia. Toistumisen ehkäisemiseksi asentajille ilmoitettiin, että heidän on muutettava toimintatapaansa siten, että huoneistokortit tarkistetaan aina ennen asennustyön aloittamista. Kuitenkin juurisyyanalyysin aikana ei selvitetty, miksi asentajat eivät noudattaneet huoneistokorttia. Koska tähän ei saatu vastausta, oikeaa juurisyytä ei löydetty, eikä toteutetut ratkaisutoimenpiteet estäneet samankaltaisen poikkeaman toistumista.

5.3 Esivalmisteisiin liittyvät poikkeamat

Tutkimusjakson aikana alakattorunkovalmiste vastasi mitoiltaan suunnitelmaa. Niistä ei kuitenkaan ollut hyötyä niissä huoneistojen kylpyhuoneissa, joissa vesimittarit eivät olleet asennettu suunnitelmien mukaisesti. Tällöin tehtaalta toimitettiin uusi muokkaamaton alakattorunkovalmiste, joka sovitettiin työmaalla paikallisiin olosuhteisiin.

Kaikissa mitatuissa putkistoesivalmistetyypeissä havaittiin mittapoikkeamia, mikä johtui todennäköisesti virheestä, jossa joihinkin kylpyhuoneisiin oli tehty reiät väärin putkistoesivalmisteita varten. Asiasta ilmoitettiin suunnittelijalle ja tehtaalle, ja putkistoesivalmisteet sekä niiden asennuskohdat suunniteltiin uudelleen paikan päällä asentajien kanssa. Havaitut poikkeamat verrattuna käytössä olleisiin suunnitelmiin johtuivat mahdollisesti asennuskohdista tehtyjen muutosten takia. Koska päivitettyjä mittoja ei ollut saatavilla tutkimusjakson aikana, ei voida varmuudella sanoa, noudattivatko putkistoesivalmisteet alkuperäisiä suunnitelmia. Näin ollen ei ollut mahdollista testata väitettä, että esivalmisteet ovat mittatarkkoja (Long ym. 2023), kun taas alakattorunkovalmisteen osalta väite piti paikkansa.

Tutkimuksen aikana esivalmisteisiin liittyvät havainnot tukevat Smithin (2010) väitettä siitä, että esivalmisteiden tarkkaan suunnitellut mitat tarjoavat vain vähän liikkumavaraa vaihtelevien asennuskohteiden huomioimiseen. Sekä alakattorungon että putkistojen tapauksissa esivalmisteet eivät tarjonneet joustoa muokkauksen suhteen, vaan ne jouduttiin joko muokkaamaan työmaalla tai tilaamaan uutena tehtaalta.

5.4 Tutkimustulosten luotettavuus ja yleistettävyys

Tutkimuksen lyhyt seurantajakso saattoi vaikuttaa tutkimusdatan laatuun ja määrään. Lisäksi se, mihin aikaan seurantajakso sijoittui, saattoi vaikuttaa havaittavan datan määrään. Jos seurantajakso olisi osunut ajanjaksoon, jolloin työmaalla asiat sujuvat hyvin, löydettävien poikkeamien määrä olisi mahdollisesti pienempi. Vastaavasti, jos seurantajakso olisi sijoittunut ajanjaksoon, jolloin työmaalla ilmenee poikkeamia, poikkeamia olisi voinut löytyä enemmän. Wanat ym. (2024) toteavat, että tutkimuksen kesto ja aineistonkeruun tiheys on sovitettava ilmiöiden esiintymistiheyteen.

Tutkimusjakson aikana keskustellessani työnjohtajien kanssa kävi ilmi, että rakennusprojektin loppuvaiheessa poikkeamia esiintyy harvemmin, sillä tietyn ajanjakson jälkeen rakennustyöntekijät sopeutuvat toimintatapoihin, mikä vähentää poikkeamien määrää. Epäsäännöllisesti esiintyvät ilmiöt jäävät lyhyissä tutkimusjaksoissa helposti havaitsematta (Neale, 2021). Näin ollen voidaan todeta, että pidempi tutkimusjakso olisi todennäköisesti tuottanut enemmän ja monipuolisempia tutkimustuloksia.

Tämän tutkimuksen ja kirjallisuudessa käsiteltyjen tutkimusten perusteella voidaan todeta, että toleranssipoikkeamat johtuvat usein puutteellisesta viestinnästä osapuolten välillä, niin esivalmisteiden kuin työmaalla tehtävissä asennuksien tapauksissa. Täten voidaan olettaa, että päivittäisjohtaminen vaikuttaa toleranssien hallintakeinona kaikkiin projektityyppeihin

samalla tavalla riippumatta siitä, käytetäänkö rakennusprosessissa esivalmisteita vai suoritetaanko asennukset työmaalla, sillä onnistunut toleranssihallinta edellyttää päivittäisjohtamisen mahdollistamaa viestintää kaikkien rakennusosapuolten välillä sekä poikkeamien yksityiskohtaista juurisyyanalyysiä.

Tämä tutkimus ei kuitenkaan riitä oletuksen vahvistamiseksi, koska otanta oli pieni (vain yksi kohde), projektityyppi yhdenlainen (linjasaneeraus) ja tutkimuksia päivittäisjohtamisen roolista toleranssien hallintakeinona on vähän. Päivittäisjohtamisen tehokkuutta ei siten voida yleistää ilman, että tulevaisuudessa suoritetaan tutkimuksia useiden eri projektityyppien, kuten linjasaneerauksen ja uudisrakentamisen, useissa kohteissa, joissa hyödynnetään esivalmisteita, työmaassa tehtyjä asennuksia tai molempia.

5.5 Kehitysehdotuksia

Mikäli samankaltainen poikkeama toistuu, siihen on puututtava tekemällä juurisyyanalyysi, jossa sovitaan tarkat toimenpiteet poikkeaman toistumisen estämiseksi. Esimerkiksi suihkuihin liittyvän poikkeaman toistuminen olisi voitu ehkäistä selvittämällä asentajien toimintatapa. Alhava ym. (2024) havaitsivat tutkimuksessaan, että työmaalla tehdyt virheelliset toimenpiteet johtuivat usein koulutuksen puutteesta, ohjeiden noudattamatta jättämisestä, puuttuvista ohjeista ja/tai suunnitteluvirheistä. Asentajien toimintatavan selvittäminen olisi mahdollistanut sen tunnistamisen, johtuivatko poikkeamat asennustavasta vai suunnitteluvirheestä. Asennustapaa analysoimalla voidaan arvioida, tarvitseeko asentaja lisäopastusta vai onko kyse välinpitämättömyydestä ohjeiden noudattamiseen. Mikäli poikkeama puolestaan johtui suunnitteluvirheestä, johon asentajalla ei ollut vaikutusmahdollisuutta, suunnitelmat olisi pitänyt korjata mahdollisimman nopeasti ja muutoksista tiedottaa asentajille.

Poikkeamat tulisi käsitellä yhtenäisen kaavan mukaisesti. Ne tulee raportoida ja ratkaista kahdella tasolla: ensin poistetaan välitön este työn jatkumiselta ja sen jälkeen ehkäistään uusiutuminen juurisyyanalyysin avulla (Alhava ym. 2019; Tommelein & Emdanat, 2022). Juurisyyanalyysi olisi toteutettava siten, että juurisyyt voidaan systemaattisesti luokitella (Alhava ym. 2024). Näin niiden esiintymistiheys voidaan kartoittaa ja varmistaa, että ne ohjautuvat oikealle taholle ratkaistaviksi ja korjattaviksi (Ballard ym. 2007).

6 Yhteenveto/Johtopäätökset

Tämän tutkimuksen tavoitteena oli arvioida päivittäisjohtamisen toimintatapoja ja niiden vaikutusta toleranssipoikkeamien hallintaan, erityisesti sitä, kuinka hyvin päivittäisjohtamisen avulla toleranssipoikkeamat raportoidaan ja niiden ratkaisemista tuetaan.

Tutkimus toteutettiin osallistumalla päivittäisiin palavereihin ja tekemällä havaintoja työmaalla. Palavereissa seurattiin kulkua, kirjattiin muistiin työpäivän suunnitelmia ja dokumentoitiin käytössä olevia työkaluja, kuten tauluja, valokuvaamalla. Työmaalla tehtiin myös esivalmisteiden mittauksia, poikkeamien valokuvausta sekä tarvittaessa rakennusprosessin osapuolten haastatteluja.

Päivittäisjohtamisessa keskeisenä elementtinä toimiva viestintä mahdollisti poikkeamien saattamisen tiedoksi. Vaikka poikkeamat dokumentoitiin säännöllisesti, niille ei tehty juurisyyanalyysiä. Tutkimus osoitti, että päivittäisjohtamista voidaan hyödyntää tehokkaana toleranssinhallinnan keinona vain, jos kustakin poikkeamasta tehdään systemaattisesti yksityiskohtainen juurisyyanalyysi, joka samalla raportoidaan. Raportointi tukee organisaation oppimisen. Analyysi on toteutettava siten, että juurisyyt luokitellaan systemaattisesti, jolloin niiden esiintymistiheys voidaan kartoittaa ja varmistaa, että juurisyiden ratkaisemiseksi tehdyt toimenpiteet ohjautuvat oikealle taholle ja ovat riittävän tehokkaita estämään toleranssipoikkeamien toistumisen.

Alla löytyy vastaukset niihin tutkimuskysymyksiin, joita esitetiin diplomityön alussa:

1. **Miten päivittäisjohtaminen on toteutettu?**

   Tutkimuksessa päivittäisjohtaminen toteutettiin kahdella päivittäisellä palaverilla: aamupalaverilla ja työnjohtopalaverilla. Aamupalaveri jäi pitämättä, jos tietty työjohtaja ei ollut paikalla, ja työnjohtopalaveri jäi pitämättä, jos vastaava työjohtaja puuttui. Koko tutkimusjakson aikana kymmenestä aamupalaverista kaksi ja kymmenestä työnjohtopalaverista yksi jäi pitämättä. Näin ollen toteutuneiden palaverien osuus mahdollisista oli 85 %.

   Aamupalaveria johti yksi työnjohtaja, ja siihen osallistui rakennustyöntekijöitä eri ammattiryhmistä, kuten timpureita, sähköasentajia, maalareita ja putkiasentajia. Osallistujamäärä vaihteli tutkimuspäivien mukaan. Palaverissa työnjohtaja tarkasteli työaikataulua tietokoneelta, seurasi töiden etenemistä ja kysyi työntekijöiltä heidän työnsä vaiheesta.

Vastauksien perusteella hän päivitti aikataulua ja sopi päivän työtehtävistä. Aikataulun päivityksen jälkeen työnjohtaja tiedusteli työmaalla esiintyviä poikkeamia.

Työnjohtopalaveri oli puolestaan työnjohtajien ja vastaavan työnjohtajan välinen tilaisuus, johon työntekijät eivät osallistuneet. Siinä työnjohtajat raportoivat poikkeamista vastaavalle työnjohtajalle, joka kirjasi ne Excel-pohjaiseen poikkeamataulukkoon. Palaverissa käsiteltiin sekä aamupalaverissa esiin nousseet poikkeamat että työnjohtajien työmaakierroksilla havaitut poikkeamat, ja jokaiselle poikkeamalle sovittiin toimenpide sen ratkaisemiseksi. Sekä aamupalavereissa että työnjohtopalavereissa ei käytetty poikkeamataulukon lisäksi muita työkaluja, kuten valkotauluja tai nelikenttäanalyysiä.

2. Mikä osuus havaituista poikkeamista raportoidaan jollain systemaattisella tavalla?

Työnjohtopalaverissa kaikki työnjohtajat raportoivat muistinsa ja omien muistiinpanojensa perusteella sekä aamupalaverissa esiin nousseet että työmaakierroksilla havaitut poikkeamat vastaavalle työnjohtajalle, joka kirjasi ne viralliseen Excel-pohjaiseen poikkeamataulukkoon. Kaikki poikkeamat käsiteltiin yhdessä, joten tutkimuksen aikana havaitut poikkeamat raportoitiin pääosin systemaattisesti, vaikka niitä ei missään vaiheessa eritelty.

Poikkeamien raportointi riippui kuitenkin vahvasti tiettyjen henkilöiden läsnäolosta. Jos aamupalaveria pitänyt työnjohtaja ei ollut paikalla, palaveria ei järjestetty, ja mahdolliset poikkeamat jäivät työnjohtopalaverissa raportoimatta. Vastaavasti, jos vastaava työnjohtaja ei ollut paikalla, päivän aikana havaitut poikkeamat eivät dokumentoitu viralliseen poikkeamalokiin. Tutkimusjakson aikana tällaisissa tilanteissa ei havaittu poikkeamia raportoitavaksi.

3. Miten raportoitujen poikkeamien ratkaisu ja poikkeamista oppiminen on toteutettu?

Aamupalaverissa poikkeamille esitettiin ratkaisu, jos sellainen keksittiin palaverin aikana. Jos aamupalaverissa keksittiin ratkaisu poikkeamaan, se käsiteltiin työnjohtopalaverissa. Mikäli vastaavan työnjohtajan mielestä ratkaisutoimeenpide oli hyväksyttävä, se merkittiin taulukkoon. Varsinaisesti työnjohtopalaverissa sovittiin päivän aikana esiintyvien poikkeamien – mukaan lukien aamupalaverissa esiin nousseet – lopulliset ratkaisutoimenpiteet työnjohtajien ja vastaavan työnjohtajan kesken, minkä jälkeen ratkaisut ilmoitettiin rakennustyöntekijöille. Samalla

tarkastettiin rutiininomaisesti, missä vaiheessa edellisen päivän ja aiempien päivien poikkeamat olivat; jos jokin aiempi poikkeama oli ratkaistu, se merkittiin poikkeamataulukkoon ratkaistuksi.

Poikkeamat ratkaistiin sovittujen ratkaisutoimenpiteiden mukaisesti, mutta ratkaisutoimenpiteiden etsimisessä oli merkittävä puute: Poikkeamille ei tehty juurisyyanalyysiä, vaan huomiota kiinnitettiin ainoastaan niiden välittömiin syihin, joiden perusteella päätettiin tarvittavista ratkaisutoimenpiteistä. Nämä toimenpiteet poistivat jotkut poikkeamat lyhyeksi ajaksi, mutta eivät estäneet niiden toistumista. Koska tutkimusjakson aikana samankaltaisia poikkeamia ilmeni toistuvasti, voidaan todeta, ettei työmaalla toteutunut varsinaista oppimista poikkeamista.

Lähteet

ACI (American Concrete Institute). 2015. *Specification for tolerances for concrete construction materials and commentary—Reapproved 2015*. ACI 117. Farmington Hills, MI: ACI.

Alhava, O., O'Loughlin, M., Haapasalo, H., Viitanen, J. & Pitkäranta, T., 2024. *Rigorous 2-Hour Takt Reveals Upstream Underperformance*. In: D.B. Costa, F. Drevland & L. Florez-Perez, eds. Proceedings of the 32nd Annual Conference of the International Group for Lean Construction (IGLC 32), pp. 238–249. Saatavissa: https://doi.org/10.24928/2024/0219

Alhava, O., Rinne, V., Laine, E. & Koskela, L., 2019. *Can a Takt Plan Ever Survive Beyond the First Contact With the Trades On-Site?*. In: Proc. 27th Annual Conference of the International Group for Lean Construction (IGLC), Dublin, Ireland, pp. 453–464. Saatavissa: https://doi.org/10.24928/2019/0261

Alshawi, M. & Underwood, J. 1996. *Improving the constructability of design solutions through an integrated system*. Engineering, Construction and Architectural Management, 3(1/2), pp. 47–67. London: MCB University Press.

Anderson, A.R. 1965. *Construction tolerances for concrete in highway structures*. Journal of the American Concrete Institute, pp. 13–18. Saatavissa: https://www.semanticscholar.org/paper/CONSTRUCTION-TOLERANCES-FOR-CONCRETE-IN-HIGHWAY-Anderson/483ce020cbb434a0c1247653fff7753557ec27dc

ASCC (American Society of Concrete Contractors). 2004. *Construction tolerance coordination*. Position statement 18. St. Louis, MO: ASCC.

Ballast, D.K. 2007. *Handbook of Construction Tolerances*. 2nd edition. Hoboken, NJ: John Wiley & Sons.

Ballard, G., Hamzeh, F.R. & Tommelein, I.D. 2007. *The Last Planner Production Workbook: Improving Reliability in Planning and Workflow*. Lean Construction Institute, pp. 18–20. San Francisco, CA: Lean Construction Institute.

Berg, J. V. D. and Holicky, M., 1989. *CIB W49 tolerances and FIG Commission 6 engineering surveys*. Amsterdam: CIB Publication.

Bertagnolli, F. 2018. *Lean Management*. In: Handbook of Research on Emerging Technologies for Effective Project Management, 25. Saatavissa: https://doi.org/10.1007/978-3-658-13124-1_25

Birkeland, P.W. & Westhoff, L.J. 1971. *Dimensional tolerances in a tall concrete building*. ACI Journal Proceedings, 68(8), pp. 600–607. Farmington Hills, MI: American Concrete Institute.

British Standards Institution. 1990. *Guide to accuracy in building*. London: British Standards Institution.

Construction Industry Institute. 1993. *Constructability Implementation Guide (Best Practice)*. Austin, TX: University of Texas.

Creveling, C.M. 1997. *Tolerance Design: A Handbook for Developing Optimal Specifications*. Englewood Cliffs, NJ: Prentice Hall.

Dave, B., Koskela, L., Kagioglou, M. & Bertelsen, S. 2008. *A Critical Look at Integrating People, Process and Information Systems Within the Construction Sector*. 16th Annual Conference of the International Group for Lean Construction, pp. 795–808. Blacksburg, VA: IGLC. Saatavissa: https://iglc.net/Papers/Details/560

Enshassi, M.S., Walbridge, S., West, J.S. & Haas, C.T. 2019. *Probabilistic risk management framework for tolerance-related issues in modularized projects: Local and global perspectives*. Journal of Risk and Uncertainty in Engineering Systems, Part A: Civil Engineering, 6(1), p.04019022. London: Sage.

Fauchier, D. & Alves, T.D.C.L. 2013. *Last Planner® System is the gateway to lean behaviors*. In: Proceedings of the 21st Annual Conference of the International Group for Lean Construction, pp. 559–568. Fortaleza, Brazil: IGLC.

Fira. 2023. *Toimintamallimme – Tahtituotanto*. Saatavissa: https://fira.fi/toimintamallimme-tahtituotanto/

Fontana, A. & Frey, J.H. 2005. *The interview: From neutral stance to political involvement*. In: N.K. Denzin & Y.S. Lincoln, eds. The Sage Handbook of Qualitative Research, 3rd ed., pp. 695–728. Thousand Oaks, CA: Sage.

Forsythe, P. 2006. *Consumer-perceived appearance tolerances in construction quality management*. Engineering, Construction and Architectural Management, 13, pp.307–318. London: MCB University Press.

Frank, G.C. 2013. *Construction quality: Do it right or pay the price*. Upper Saddle River, NJ: Pearson Higher Education.

Gann, D.M. 1996. *Construction as a manufacturing process? Similarities and differences between industrialized housing and car production in Japan*. Construction Management and Economics, 14(5), pp. 437–450. London: Taylor & Francis.

Gibb, A.G. 2001. *Standardization and pre-assembly: distinguishing myth from reality using case study research*. Construction Management and Economics, 19(3), pp. 307–315. London: Taylor & Francis.

Heller, D. 2023. *Digital Shopfloor Management in Construction – a Case Study*. In: Proceedings of the 31st Annual Conference of the International Group for Lean Construction (IGLC), pp. 1546–1556. Sao Paulo, Brazil: IGLC. Saatavissa: https://doi.org/10.24928/2023/0215

Hofacker, A., Hickethier, G. & Bregenhorn, T. 2010. *Der Baustellenleitstand: Shop-Floor-Management im Bauwesen*. Lean-Management im Bauwesen. Karlsruhe, Germany: Institut für Technologie und Management im Baubetrieb, KIT. Saatavissa: https://doi.org/10.5445/IR/1000023003

Jaillon, L. & Poon, C. 2014. *Life cycle design and prefabrication in buildings: a review and case studies in Hong Kong*. Automation in Construction, 39, 195–202. Hong Kong: Elsevier.

Johansen, P., Christensen, S., Neve, H.H. & Wandahl, S. 2021. *Lean Renovation – a Case Study of Productivity, Flow, and Time Improvements*. 29th Annual Conference of the International Group for Lean Construction, Lima, Peru. Saatavissa: https://doi.org/10.24928/2021/0150.

Johnsson, H. & Meiling, J.H. 2009. *Defects in offsite construction: timber module prefabrication*. Construction Management and Economics, 27(7), pp. 667–681. London: Taylor & Francis.

Jingmond, M., Ågren, R. & Landin, A. 2011. *Use of cognitive mapping in the diagnosis of tolerance failure*. In: Proceedings of the 6th Nordic Conference on Construction Economics and Organisation. Aalborg, Denmark: Danish Building Research Institute, Aalborg University.

Jimenez, A., Ilar, T. & Stehn, L. 2020. *Keeping track of productivity in house-building*. 28th Annual Conference of the International Group for Lean Construction, Berkeley, California, USA. Saatavissa: https://doi.org/10.24928/2020/0072

Koskela, L. 2000. *An exploration towards a production theory and its application to construction* (Doctoral thesis). Helsinki, Finland: Helsinki University of Technology. Saatavissa: http://lib.tkk.fi/Diss/2000/isbn951385566X/

Krogstie, L. 2015. Closed Loop Tolerance Engineering: *An Approach for Designing Robust Products and Processes*. Ph.D. Thesis, Norwegian University of Science and Technology, Trondheim, Norway. Saatavissa: https://ntnuopen.ntnu.no/ntnu-xmlui/handle/11250/282441

Landin, A. & Kämpe, P. 2007. *Industrializing the construction sector through innovation – tolerance dilemma*. In: Proceedings of the CIB World Congress, 14–17 May. Cape Town, South Africa: CIB.

Lappalainen, E., Uusitalo, P., Abou Ibrahim, H., Seppänen, O., Hänninen, A. & Söderström, K. 2022. *Effects of Daily Management on Design Reliability*. Espoo, Finland: Aalto University.

Lawson, M., Ogden, R. & Goodier, C. 2014. *Design in Modular Construction*. *Boca Raton*, FL: CRC Press.

Lean Construction Institute. 2023. Daily huddle. Saatavissa: https://www.leanconstruction.org/lean-topics/daily-huddle

Liker, J. 2020. *The Toyota Way: 14 Management Principles from the World's Greatest Manufacturer (2nd ed.)*. New York, NY: McGraw-Hill Education.

Long, H., Luo, X., Liu, J. & Xiang, H., 2023. *Distribution features of deviation and determination of a tolerance method for prefabricated concrete components*. *Buildings*, 13(5), p.1142. Basel: MDPI. Saatavissa: https://doi.org/10.3390/buildings13051142

Love, P.E.D. & Josephson, P.-E. 2004. *Role of Error-Recovery Process in Projects*. Journal of Management in Engineering, 20(2), pp. 70–79. Reston, VA: ASCE.

Love, P.E.D., Edwards, D.J., Irani, Z. & Walker, D.H.T. 2009. *Project Pathogens: The Anatomy of Omission Errors in Construction and Resource Engineering Project*. IEEE Transactions on Engineering Management, 56(3), pp. 425–435. New York, NY: IEEE.

Milberg, C.T. & Tommelein, I.D. 2003. *Application of Tolerance Analysis and Allocation in Work Structuring: Partition Wall Case*. In: Proceedings of

the 11th Annual Conference of the International Group for Lean Construction, 22–24 July. Blacksburg, VA: IGLC.

Milberg, C.T. & Tommelein, I.D. 2004. *Tolerance Mapping – Partition Wall Case Revisited*. In: 12th Annual Conference of the International Group for Lean Construction. Sydney, Australia: IGLC.

Milberg, C.T., 2006. *Application of tolerance management to civil systems*. PhD dissertation. University of California, Berkeley.

Milberg, C.T. & Tommelein, I.D. 2019. *Methods for Managing Tolerance Compatibility: Windows in Cast-in-Place Concrete*. Journal of Construction Engineering and Management, 146(2). Reston, VA: ASCE. Saatavissa: https://doi.org/10.1061/(ASCE)CO.1943-7862.0001728

Milasan, L. 2024. *Taking pictures is like treasure hunting: Exploring the therapeutic value of photography as a qualitative research method*. International Journal of Qualitative Methods, 23, pp. 1–20. Saatavissa: https://doi.org/10.1177/16094069241236219

Minichiello, V., Aroni, R., Timewell, E. & Alexander, L. 1990. *In-depth interviewing: Researching people*. Hong Kong: Longman Cheshire Pty Limited.

Neale, B. 2021. *The craft of qualitative longitudinal research: The craft of researching lives through time*. London, UK: Sage.

Paez, O., Salem, S., Solomon, J. & Genaidy, A. 2005. *Moving from lean manufacturing to lean construction: Toward a common sociotechnological framework*. Human Factors and Ergonomics in Manufacturing & Service Industries, 15(2), pp. 233–245. London: Taylor & Francis. Saatavissa: https://doi.org/10.1002/hfm.20023

Patton, M.Q. 2002. *Qualitative research and evaluation methods (3rd ed.)*. Thousand Oaks, CA: Sage.

PCI (Precast/Prestressed Concrete Institute). 2007. *Architectural precast concrete (3rd ed.)*. Chicago, IL: PCI.

Rashidi, M.N., Begum, R.A., Mokhtar, M. & Pereira, J.J. 2014. *The conduct of structured interviews as research implementation method*. Journal of Advanced Research Design. Saatavissa: https://www.akademiabaru.com/submit/index.php/ard/article/view/4779

Rausch, C., Nahangi, M., Haas, C. & Liang, W. 2017. *Monte Carlo simulation for tolerance analysis in prefabrication and offsite construction*. Automation in Construction, 103, pp. 300–314. Amsterdam, Netherlands: Elsevier.

Rother, M. 2009. *Toyota Kata: Managing People for Improvement, Adaptiveness and Superior Results*. New York, NY: McGraw-Hill Professional.

Seymour, D., Shammas-Toma, M. & Clark, L. 1997. *Limitations of the use of tolerances for communicating design requirements to site*. Engineering, Construction and Architectural Management, 4(1), pp. 3–22. London: MCB University Press.

Shahtaheri, Y., Rausch, C., West, J., Haas, C. & Nahangi, M. 2017. *Managing risk in modular construction using dimensional and geometric tolerance strategies*. Automation in Construction, 83, pp. 303–315. Amsterdam, Netherlands: Elsevier. Saatavissa: https://doi.org/10.1016/j.autcon.2017.03.011

Shen, K., Cheng, C., Li, X. & Zhang, Z. 2018. *Environmental cost-benefit analysis of prefabricated public housing in Beijing*. Sustainability, 1, pp. 1–21. Basel, Switzerland: MDPI.

Smith, R.E. 2010. *Prefab Architecture: A Guide to Modular Design and Construction*. Hoboken, NJ: John Wiley & Sons.

Strząbała, K., ym. 2022. *Quality control of hidden construction work using photographs attached to inspection reports*. ResearchGate. Saatavissa: https://www.researchgate.net/publication/376095279_Quality_Control_of_Hidden_Construction_Work_Using_Photographs_Attached_to_Inspection_Reports

Suzaki, K. 1994. *Die ungenutzten Potentiale: Neues Management im Produktionsbetrieb*. München, Germany: Carl Hanser Verlag.

Talebi, S., Koskela, L., Shelbourn, M. & Tzortzopoulos, P., 2016. *Critical review of tolerance management in construction*. Proceedings of the 24th Annual Conference of the International Group for Lean Construction, Boston, MA, USA, 20–22 July.

Talebi, S. 2019. *Improvement of Dimensional Tolerance Management in Construction*. PhD dissertation. University of Huddersfield. Saatavissa: https://www.researchgate.net/publication/338360296_Improvement_of_Dimensional_Tolerance_Management_in_Construction.

Talebi, S., Koskela, L., Tzortzopoulos, P. & Kagioglou, M. 2020. *Tolerance Management in Construction: A Conceptual Framework*. *Sustainability*, 12(3), 1039. Basel, Switzerland: MDPI. Saatavissa: https://doi.org/10.3390/su12031039

ThinkProductive. 2018. *The Daily Huddle*. Online article. Saatavissa: https://thinkproductive.co.uk/the-daily-huddle/

Tommelein, I.D. & Emdanat, S., 2022. *Takt Planning: An Enabler for Lean Construction*. Teoksessa: Proc. 30th Annual Conference of the International Group for Lean Construction (IGLC), Edmonton, Canada, pp. 866–877. Saatavissa: https://doi.org/10.24928/2022/0198

Valkonen, T., Alhava, O., Viitanen, J. & Seppänen, O. 2024. *Why do some prefabricate MEP while others do not*. In: D.B. Costa, F. Drevland & L. Florez-Perez, eds. Proceedings of the 32nd Annual Conference of the International Group for Lean Construction (IGLC32), pp. 857–868. Saatavissa: https://doi.org/10.24928/2024/0145

Vähä, P., Heikkilä, T., Kilpeläinen, P., Järviluoma, M. & Gambao, E. 2013. *Extending automation of building construction — Survey on potential sensor technologies and robotic applications*. Automation in Construction, 36, pp. 168–178. Amsterdam, Netherlands: Elsevier. Saatavissa: https://doi.org/10.1016/j.autcon.2013.08.002

Wang, X., Han, W., Du, E., Dai, F. & Zhu, Z. 2023. *An eye gaze-aided virtual tape measure for smart construction*. Canadian Journal of Civil Engineering, 51. Ottawa, Canada: NRC Research Press. doi:10.1139/cjce-2023-0056. Saatavissa: https://www.researchgate.net/publication/370646148

Wester, L. & Hitka, M. 2022. *Shopfloor Management – A Tool of Lean Management*. Management Systems in Production Engineering, 30, pp. 238–245. Warsaw, Poland: Sciendo. Saatavissa: https://doi.org/10.2478/mspe-2022-0030

Wanat, M., Weller, S., Borek, A., Nowak, G., Scott, C. & Hamilton, F. 2024. *Crafting tempo and timeframes in qualitative longitudinal research*. International Journal of Qualitative Methods, 23. Saatavissa: https://doi.org/10.1177/16094069241270399

Zhang, M., Chen, S., Zhao, X. & Yang, Z. 2018. *Research on construction workers' activity recognition based on smartphone*. Sensors, 18(8), 2667. Basel, Switzerland: MDPI. doi:10.3390/s18082667.