



Infrarakentamisen reaaliaikainen työ- maan etenemäraportointi

**GNSS-, keilaus- ja tekoälyavusteisen analytiikan
mahdollisuudet**

Outi Jousmäki

Opinnäytetyö, AMK

Toukokuu 2025

Insinööri (AMK), rakennus- ja yhdyskuntatekniikka

Jousmäki, Outi

Infrarakentamisen reaaliaikainen työmaan etenemäraportointi. GNSS-, keilaus- ja tekoälyavusteisen analytiikan mahdollisuudet

Jyväskylä: Jyväskylän ammattikorkeakoulu. Toukokuu 2025, 45 sivua.

Rakennus- ja yhdyskuntatekniikan tutkinto-ohjelma. Opinnäytetyö AMK.

Julkaisun kieli: suomi

Julkaisulupa avoimessa verkossa: kyllä

Tiivistelmä

Opinnäytetyössä tarkasteltiin GNSS-mittauksen, laserkeilauksen ja tekoälypohjaisen analytiikan hyödyntämistä infrarakentamisen työmaiden reaaliaikaisessa etenemäseurannassa. Tavoitteena oli arvioida teknologioiden tarkkuutta, hyötyjä ja haasteita sekä tunnistaa parhaat käytännöt niiden integroimiseksi osaksi automatisoitua raportointia.

Tutkimus perustui systemaattiseen kirjallisuuskatsaukseen, jossa analysoitiin vertaisarvioituja tieteellisiä julkaisuja ja asiantuntija-artikkeleita laadullisen sisällönanalyysin keinoin. Tarkastelu keskittyi teknologioiden sovellusmahdollisuuksiin, kustannustehokkuuteen sekä organisatorisiin ja kulttuurisiin käyttöönoton edellytyksiin infrarakentamisen kontekstissa.

Tulokset osoittivat, että teknologioiden yhdistäminen tarjoaa mahdollisuuden seurata infrarakentamisen etenemistä tarkasti, visuaalisesti ja automatisoidusti, mikä on erityisen arvokasta laajoissa, kompleksisissa ja tietointensiivisissä projekteissa; pienissä hankkeissa kustannukset voivat ylittää saatavan hyödyn. Tutkimuksessa havaittiin myös, että teknologioiden skaalautuvuus mahdollistaa niiden soveltamisen eri kokoisissa hankkeissa. Lisäksi teknologioiden yhdistäminen voi tuoda merkittävää kilpailuetua parantamalla projektinhallinnan läpinäkyvyyttä, tehostamalla prosesseja ja nopeuttamalla päätöksentekoa. Haasteiksi tunnistettiin datan käsittelyn tekninen vaativuus, ohjelmistojen yhteensopimattomuus, henkilöstön osaamisvaatimukset sekä organisaatiokulttuuriset tekijät.

Johtopäätöksenä todettiin, että teknologioiden yhdistäminen tarjoaa lupaavan ratkaisun reaaliaikaisen etenemäseurannan haasteisiin, mutta edellyttää myös laitteistojen ja ohjelmistojen hankinnan ohella koulutusta, muutosjohtamista sekä toimivia tiedonhallintaratkaisuja. Kehittämistarpeita havaittiin tietojärjestelmien yhteentoimivuuden, käyttöliittymien saavutettavuuden ja pilvipohjaisen tiedonhallinnan osa-alueilla.

Tutkimus toimii vahvana teoreettisena lähtökohtana jatkotutkimukselle. Jatkosuunniksi suositeltiin erityisesti empiiristen tapaustutkimusten toteuttamista ja kustannus-hyötyarvioiden taloudellista mallintamista.

Avainsanat (asiasanat)

Infrarakentaminen, työmaan valvonta, raportointi, GNSS, laserkeilaus, tekoäly, paikkatietojärjestelmät, rakentaminen, digitalisaatio

Jousmäki, Outi

Real-time Progress Reporting in Infrastructure Construction. Opportunities of GNSS, Laser Scanning, and AI-assisted Analytics

Jyväskylä: JAMK University of Applied Sciences, May 2025, 45 pages.

Degree Programme in Construction and Civil Engineering. Bachelor's thesis.

Permission for open access publication: Yes

Language of publication: Finnish

Abstract

The thesis examined the utilization of GNSS measurement, laser scanning, and AI-based analytics for real-time progress monitoring on infrastructure construction sites. The aim was to assess the accuracy, benefits, and challenges of these technologies and to identify best practices for integrating them into automated reporting systems.

The research was based on a systematic literature review, analyzing peer-reviewed scientific publications and expert articles through qualitative content analysis. The focus was on the application potential of the technologies, their cost-effectiveness, and the organizational and cultural prerequisites for their implementation within the context of infrastructure construction.

The results indicated that the integration of these technologies enables accurate, visual, and automated monitoring of infrastructure project progress. This is particularly valuable in large, complex, and data-intensive projects; however, in smaller projects, the costs may outweigh the benefits. The study also found that the scalability of these technologies allows for their application across projects of varying sizes. Moreover, combining these technologies can offer a significant competitive advantage by improving project transparency, streamlining processes, and accelerating decision-making. Identified challenges included the technical complexity of data processing, software incompatibilities, staff skill requirements, and organizational cultural factors.

In conclusion, the integration of these technologies presents a promising solution to the challenges of real-time progress monitoring. However, in addition to hardware and software investments, it also requires training, change management, and effective data management solutions. Areas for development were identified in system interoperability, user interface accessibility, and cloud-based data management.

The study provides a strong theoretical foundation for further research. Future directions recommended include conducting empirical case studies and developing economic models for cost-benefit analysis.

Keywords/tags (subjects)

Infrastructure construction, site supervision, reporting, GNSS, laser scanning, artificial intelligence (AI), geo-spatial information systems, construction, digitalization

Sisältö

| | | |
|----------|---|-----------|
| 1 | Johdanto | 6 |
| 1.1 | Rakentamisen digitalisaatio ja reaaliaikainen työmaaseuranta | 6 |
| 1.2 | Opinnäytetyön tavoitteet ja rajaus | 7 |
| 1.3 | Kestävän kehityksen näkökulma | 7 |
| 2 | Reaaliaikaisen työmaan etenemäraportoinnin teknologiat ja menetelmät | 8 |
| 2.1 | GNSS-teknologia infrarakentamisessa | 8 |
| 2.2 | Laserkeilaus työmaan etenemäraportoinnissa | 12 |
| 2.3 | Tekoäly rakennusalan reaaliaikaisessa raportoinnissa | 13 |
| 2.4 | Paikkatietoteknologiat ja niiden integrointi..... | 15 |
| 2.5 | Reaaliaikainen työmaan etenemäraportointi | 17 |
| 2.6 | Kustannus-hyötyanalyysi teknologioiden käyttöönotossa | 19 |
| 3 | Opinnäytetyön tarkoitus, tavoitteet ja tutkimuskysymykset | 21 |
| 3.1 | Tavoitteet ja kehittämiskohde | 21 |
| 3.2 | Tutkimuskysymykset | 22 |
| 4 | Tutkimuksen toteutus | 23 |
| 4.1 | Tutkimus- ja kehittämismenetelmät | 23 |
| 4.2 | Aineiston keruu ja kuvaus | 23 |
| 4.3 | Aineiston analyysi..... | 24 |
| 5 | Tulokset | 25 |
| 5.1 | Teknologioiden yhdistämisen mahdollisuudet | 25 |
| 5.2 | Keilauksen lisäarvo GNSS-mittaukseen verrattuna..... | 25 |
| 5.3 | Tekoälyn hyödyt ja haasteet rakennusalan raportoinnissa | 26 |
| 5.4 | Reaaliaikaisen datan siirron toteutus ja vaikutus raportointiin..... | 27 |
| 5.5 | Kustannus-hyötyanalyysi reaaliaikaisen raportointijärjestelmän käyttöönotosta | 28 |
| 5.6 | Suositukset infrarakentamisen toimijoille | 29 |
| 6 | Pohdinta ja johtopäätökset | 30 |
| 6.1 | Luotettavuus | 30 |
| 6.2 | Eettisyys..... | 31 |
| 6.3 | Tulosten tarkastelu suhteessa tietoperustaan..... | 32 |
| 6.4 | Teknologian käyttöön liittyvät haasteet ja kehitysehdotukset..... | 35 |
| 6.5 | Jatkotutkimusaiheet ja tulevaisuuden kehityssuunnat | 37 |

| | |
|--|-----------|
| Lähteet | 39 |
| Liitteet | 46 |
| Liite 1. Tiedonhaun dokumentointi..... | 46 |

Kuviot

| | |
|--|----|
| Kuvio 1. GNSS-RTK-järjestelmän toimintaperiaate (Graham 2018). | 9 |
| Kuvio 2. GNSS-mittausaineisto kallionpinnasta, 271 pistettä (Mitlas Oy 2025)..... | 16 |
| Kuvio 3. Laserkeilattu pistepilvi kallionpinnasta, 22 067 074 pistettä (Mitlas Oy 2025)..... | 16 |

Taulukot

| | |
|--|----|
| Taulukko 1. GNSS-menetelmien (perus-GPS, RTK, PPP) vertailu..... | 11 |
| Taulukko 2. Opinnäytetyön tulosten ja tieteellisen tutkimuksen vastaavuus..... | 33 |

1 Johdanto

1.1 Rakentamisen digitalisaatio ja reaaliaikainen työmaaseuranta

Infrarakentamisen ala on digitalisaation myötä uudistunut merkittävästi, ja erityisen keskeiseksi kehityskohteeksi jatkuvassa muutoksessa on noussut työmaan reaaliaikainen seuranta ja raportointi. Perinteiset työmaaseurannan menetelmät, kuten manuaaliset mittaukset ja viikoittaiset raportit, eivät enää riitä suurten ja aikataulukriittisten hankkeiden hallintaan. Hankkeiden tiukentuneet aikataulut ja kustannustehokkuuden vaatimukset ovat kasvattaneet reaaliaikaisen seurannan tarvetta. Samalla tilaajat ja viranomaiset edellyttävät entistä avoimempaa ja tarkempaa raportointia, mikä lisää paineita kehittää työmaan etenemäseurantaa.

GNSS-mittaus on jo pitkään ollut keskeinen työkalu infrarakentamisessa, mutta sen rinnalle on noussut uudempia teknologioita, kuten laserkeilaus ja tekoälypohjainen analytiikka, jotka mahdollistavat entistä tarkemman ja automatisoidumman työmaaseurannan. Teknologioiden kehitys avaa rakennusliikkeille uusia mahdollisuuksia optimoida toimintaansa ja saavuttaa kilpailuetua yhä vaativammilla markkinoilla. Tässä opinnäytetyössä tutkitaan GNSS-mittauksen, laserkeilauksen ja tekoälyn yhteiskäyttöä reaaliaikaisessa etenemäraportoinnissa ja selvitetään, millaisia etuja ne voivat yhdessä tuoda tarkkuuden ja avoimuuden parantamiseksi. Erityisesti tarkastellaan keilauksen roolia GNSS-mittaukseen verrattuna sekä tekoälyn soveltuvuutta mittausdatan käsittelyyn ja raportoinnin automatisointiin.

Tutkimuksen taustalla on infra- ja vesirakentamisen alalla toimivan keskisuuren yrityksen kehittämistarve parantaa työmaaseurannan tarkkuutta ja automatisoida reaaliaikaista etenemäraportointia. Nykyisillä menetelmillä riittävän tarkan ja ajantasaisen tiedon kerääminen ja raportointi vaatii merkittävän määrän manuaalista työtä ja resursseja. Koska mittausdatan luovutus ja työn etenemäraportointi ovat usein maksupostin ehtona, on raportoinnin reaaliaikaisuus toimeksiantajan etu. Kun data saadaan tilaajalle toimituskelpoisessa muodossa heti työn valmistuttua, voidaan myös laskutus toteuttaa viiveettä, mikä parantaa kassavirtaa ja vähentää taloudellisia riskejä. Reaaliaikainen ja automatisoitu seuranta mahdollistaa työn toteuttajalle myös resurssien tehokamman kohdentamisen, tarkemman aikataulutuksen, ennakoivan päätöksenteon ja poikkeamien nopean havaitsemisen, mikä vähentää kokonaiskustannuksia, parantaa läpinäkyvyyttä sidosryhmien välillä ja edistää yhteistyötä lisäten asiakastyytyväisyyttä.

1.2 Opinnäytetyön tavoitteet ja rajaus

Opinnäytetyössä tarkastellaan GNSS-mittauksen, laserkeilauksen ja tekoälypohjaisen analytiikan hyödyntämistä infrarakentamisen työmaiden reaaliaikaisessa etenemäseurannassa. Tavoitteena on arvioida teknologioiden tarkkuutta, hyötyjä ja haasteita sekä tunnistaa parhaat käytännöt niiden integroimiseksi osaksi automatisoitua raportointia.

Työn tarkoituksena on:

- Parantaa työmaaseurannan tarkkuutta, nopeutta ja luotettavuutta
- Vähentää manuaalisen työn tarvetta ja tehostaa tiedonkeruuta
- Tunnistaa teknologioiden integroinnin parhaat käytännöt
- Arvioida teknologioiden kustannustehokkuutta erityisesti keskisuurissa hankkeissa
- Tarjota suosituksia käytännön sovelluksille sekä jatkotutkimukselle

Tutkimuksen rajauksessa keskitytään infrarakentamisen työmaaseurantaan ja reaaliaikaiseen raportointiin, jättäen tarkastelun ulkopuolelle muut rakentamisen digitalisaatioon liittyvät osa-alueet, kuten talonrakentamisen digitalisaatio ja suunnitteluvaiheen tietomallinnus. Teknologioista painopiste on GNSS-mittauksen ja laserkeilauksen yhdistämisessä sekä tekoälyn soveltamisessa mittausdatan analysointiin ja automatisointiin. Tutkimuksessa ei käsitellä yksityiskohtaisesti teknologioiden hankintakustannuksia, mutta kustannus-hyötyanalyysi huomioidaan yleisellä tasolla.

1.3 Kestävän kehityksen näkökulma

Toimeksiantajayritykselle kestävän kehityksen huomioiminen on erityisen tärkeää, koska yrityksen toimialalla ympäristövaikutukset voivat olla merkittäviä. Kestävä kehitys ei pelkästään paranna yrityksen ympäristövastuullisuutta, vaan se myös vahvistaa sen kilpailukykyä ja mainetta alalla. Lisäksi ympäristövastuullisuus tukee yrityksen pitkän aikavälin liiketoimintastrategiaa, sillä kestävä kehitys on tulevaisuudessa yhä enemmän keskiössä lainsäädännössä, rahoituksessa ja asiakasvaatimuksissa.

Reaaliaikainen ja automatisoitu työmaan seuranta tukee ympäristöystävällistä rakentamista ja resurssien tehokasta käyttöä. Tehokas raportointi vähentää materiaalihukkaa ja ylimääräisiä työvaiheita, mikä paitsi säästää kustannuksia myös pienentää ympäristövaikutuksia, kuten hiilidioksidipäästöjä ja energian kulutusta. Lisäksi tarkempi aikataulutus ja ennakoiva päätöksenteko mahdollistavat projektien sujuvamman etenemisen vähentäen viivästyksiä ja turhia seisakkeja, jotka usein johtavat resurssien ja energian tuhlaamiseen. Tekoälyn ja edistyneiden mittausteknologioiden yhdistäminen edistää myös kestävämpien toimintamallien kehittymistä, parantaen projektin- ja ympäristövaikutusten hallintaa rakennusprojekteissa. Kestävä kehitys on näin ollen keskeinen tekijä tutkimuksessa, joka tarkastelee teknologioiden roolia infrarakentamisen prosessien tehostamisessa ja ympäristövaikutusten minimoimisessa.

2 Reaaliaikaisen työmaan etenemäraportoinnin teknologiat ja menetelmät

2.1 GNSS-teknologia infrarakentamisessa

Global Navigation Satellite System (GNSS) on keskeinen teknologia nykyaikaisessa infrarakentamisessa, koska se tarjoaa mahdollisuuden tarkkaan paikannukseen ja mittausdatan keräämiseen reaaliajassa (FINPOS-paikannuspalvelu n.d.). Tämä tukee työmaan etenemäseurantaa, raportointia sekä rakennusprosessin laadunvarmistusta (Sirviö 2025, 5, 32-33). GNSS-tekniikan toimintaperiaatteiden ja käytön ymmärtäminen on välttämätöntä, jotta sen tarjoamat hyödyt voidaan maksimoida käytännössä ja mittausaineiston laatu varmistaa (mts. 14, 31).

Satelliittipaikannusteknologian rooli infrarakentamisessa on merkittävä, vaikka sen käyttöä ei ole Suomessa kattavasti tilastoitu (GNSS-Finland n.d.). Käytännön työssä teknologia on kuitenkin vaikiintunut lähes kaikkien alan toimijoiden työkaluksi erityisesti työn ohjaamisessa, dokumentoinnissa ja laadun seurannassa (Sirviö 2025, 5, 15, 32-33).

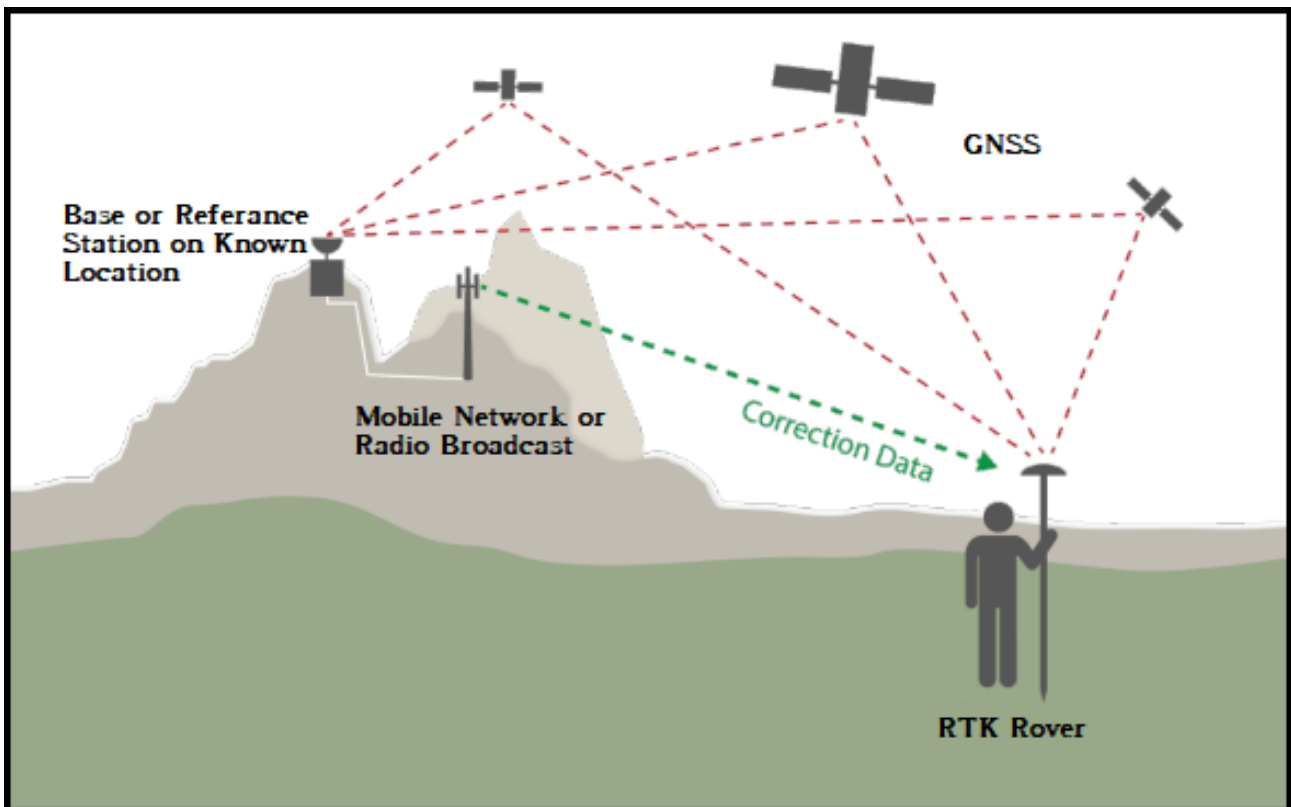
GNSS:n periaatteet ja toimintamekanismit

GNSS perustuu satelliittipohjaiseen paikannukseen, jossa vastaanotin määrittää sijaintinsa mittamalla signaalien kulku-aikaa useilta satelliiteilta (Satelliittinavigointijärjestelmät n.d.). Suomessa

yleisimmin käytössä on Yhdysvaltain GPS, mutta myös Venäjän GLONASS, Euroopan Galileo ja Kiinan BeiDou -järjestelmät ovat käytettävissä, mikä parantaa paikannuksen luotettavuutta ja saatavuutta (Satelliittipaikannus n.d.). GNSS-vastaanotin vaatii vähintään neljän satelliitin signaalit saadakseen tarkan kolmiulotteisen sijainnin (Satelliittinavigointijärjestelmät n.d.).

Tarkkuutta parannetaan Suomessa yleisesti RTK-tekniikalla (Real-Time Kinematic), jossa tukiasema lähettää korjaussignaaleja vastaanottimelle. RTK-menetelmällä saavutetaan senttimetriluokan tarkkuus, mikä on usein riittävä infra-alan mittaustarkkuuden vaatimukseen (Boquet, Vilajosana & Matinez 2024).

Toinen menetelmä on PPP (Precise Point Positioning), joka perustuu satelliittien tarkkoihin kierto-radoista ja kelloista laskettuihin korjauksiin, mutta tämä vaatii laajempaa laskentatehoa eikä ole Suomessa vielä yhtä yleinen (Kouba, Lahaye & Tétreault 2017, 723–724; FINPOS-paikannuspalvelu n.d.).



Kuvio 1. GNSS-RTK-järjestelmän toimintaperiaate (Graham 2018).

GNSS:n käyttö työmaan etenemäraportoinnissa

GNSS:n käyttö mahdollistaa työmaan toiminnan tarkan sijaintitiedon keruun, mikä on keskeistä etenemisen objektiivisessa mittaamisessa. Työmaan eri osa-alueiden georeferointi luo perustan verrata suunniteltua aikataulua toteutuneeseen etenemiseen, jolloin projektipäälliköt voivat tehdä perusteltuja päätöksiä resurssien kohdentamisesta ja aikataulutuksen optimoinnista. Tämä vähentää inhimillisten virheiden riskiä ja lisää raportoinnin luotettavuutta. (How GNSS Enhances Precision in Construction Site Surveys 2024.)

GNSS:n reaaliaikainen data tukee myös dynaamista päätöksentekoa ja nopeaa reagointia mahdollisiin viivästyksiin tai poikkeamiin. Perinteiset raportointimenetelmät, kuten manuaaliset mittaukset tai visuaaliset tarkastukset, eivät kykene tarjoamaan ajantasaista tietoa, mikä voi johtaa viivästyksiin ongelmien tunnistamisessa ja korjaavien toimenpiteiden toimeenpanossa. GNSS:n avulla saatava jatkuva seuranta mahdollistaa korkeatasoisen riskienhallinnan ja laadunvalvonnan. (How Real-Time Data Improves Decision-Making in Construction Projects 2025.)

Lisäksi GNSS-tekniikan integrointi digitaalisiin rakennustietoihin, kuten BIM-malleihin tai tilaaja-organisaation omiin tiedonhallintajärjestelmiin, laajentaa sen hyödyntämismahdollisuuksia etenemäraportoinnissa. Tämä yhdistelmä mahdollistaa monipuolisen analytiikan ja ennustamisen, mikä parantaa hankkeen kokonaisvaltaista hallintaa. Digitaalinen tiedonhallinta tehostaa myös tiedon jakamista eri sidosryhmien välillä, mikä lisää läpinäkyvyyttä ja parantaa yhteistyötä. (Vassena, Perfetti, Comai & Ventura 2023, 3, 6-9, 12-15.)

Kuitenkin on huomioitava, että GNSS-järjestelmien tarkkuuteen ja käyttömahdollisuuksiin vaikuttavat ulkoiset tekijät, kuten maasto, sääolosuhteet ja signaalin häiriöt. Näiden haasteiden vuoksi GNSS:n käyttö vaatii asianmukaista laitteistoa, ohjelmistoa sekä henkilöstön osaamista. Toisaalta teknologian jatkuva kehitys, kuten RTK- ja PPP-menetelmät, ovat merkittävästi parantaneet GNSS:n luotettavuutta ja käyttökelpoisuutta työmailla. (Achieving Centimeter Accuracy with GNSS Real-Time Kinematic Techniques 2025.)

GNSS:n tarkkuus ja luotettavuus

GNSS:n tarkkuus vaihtelee merkittävästi käytetyn menetelmän, ympäristötekijöiden ja käytössä olevan kaluston mukaan. Maanmittauslaitoksen mukaan perinteisen GPS-paikannuksen tarkkuus on tyypillisesti useita metrejä, mikä ei riitä tarkkuutta vaativiin infrarakentamisen työtehtäviin (FINPOS-paikannuspalvelu n.d.). Sijainnin epätarkkuus voi johtua esimerkiksi satelliittien rata- ja kellopoikkeamista, ilmakehän vaikutuksista, monitie-efekteistä tai satunnaisista häiriöistä, kuten vaimentumisesta ja heijastumisesta rakennusten tai puuston takia (Ollander, Bode & Baum 2020, 1-7).

Tarkempaa paikannusta varten käytetään Real-Time Kinematic -menetelmää (RTK), jossa kiinteä tukiasema lähettää korjaussignaaleja liikkuvalla vastaanottimelle. Tämän ansiosta saavutetaan senttimetriluokan tarkkuus, joka on yleinen vaatimus rakennus- ja infrastruktuurihankkeissa. Suomessa RTK-teknologiaa tukee esimerkiksi FINPOS-palvelu, jota ylläpitää Maanmittauslaitos. (FINPOS-paikannuspalvelu n.d.)

GNSS-järjestelmien luotettavuuteen vaikuttavat ympäristön esteet kuten rakennukset, metsät ja maaston muodot, jotka voivat aiheuttaa signaalin katkeamisia ja heijastumia. Näitä haasteita voidaan kuitenkin hallita muun muassa huolellisella mittausreittien suunnittelulla sekä yhdistämällä GNSS muihin mittausteknologioihin. (Satelliittipaikannuksen nykytila ja kehitysnäkymät 2020.)

Lisäksi Traficomian asiantuntijat korostavat, että modernit GNSS-vastaanottimet pystyvät hyödyntämään useita satelliittijärjestelmiä (kuten GPS, Galileo, GLONASS ja BeiDou) samanaikaisesti. Tämä lisää paikannuksen jatkuvuutta ja sietokykyä yksittäisiä häiriöitä vastaan. Myös antennien tekniset ratkaisut voivat parantaa häiriönsietoa. (Mt.)

Taulukko 1. GNSS-menetelmien (perus-GPS, RTK, PPP) vertailu.

| GNSS-menetelmä | Tarkkuus | Käyttökohteet infrarakentamisessa | Etuja | Rajoituksia |
|----------------|------------|---|---|---|
| Perus-GPS | 2-5 metriä | Paikkatiedon keruu, aluetason kartoitus | Helppo ja edullinen, ei tarvetta tukiasemille | Riittämätön tarkkuus tarkkoihin mittauksiin |

| | | | | |
|---------------------------------|-------------------|--|--|--|
| RTK (Real-Time Kinematic) | 1-2 senttimetriä | Tarkat paalutukset, koneohjaus, korkeusmittaukset/-asemointi | Reaaliaikainen tarkka paikannus | Tarvitaan tukiasema tai verkko, lyhyempi toimintasäde |
| PPP (Precise Point Positioning) | 2-10 senttimetriä | Alueet ilman tukiasemaverkkoa, pitkäkestoiset mittaukset | Ei vaadi paikallista tukiasemaa, globaalisti toimiva | Hitaampi konvergenssiaika, ei reaaliaikainen ilman lisäpalveluja |

2.2 Laserkeilaus työmaan etenemäraportoinnissa

Laserkeilaus on yleistynyt mittausteknologia infrarakentamisen työmailla, jonka avulla voidaan tuottaa tarkkoja, kolmiulotteisia pistepilviaineistoja. Tämä mahdollistaa rakennuskohteiden tilan dokumentoinnin ja etenemäseurannan erittäin yksityiskohtaisesti, mikä parantaa työn suunnittelua, laadunvalvontaa ja tiedon jakamista eri sidosryhmien kesken (3D Laser Scanning n.d.; Benefits of 3D Laser Scanning in Construction 2025). Laserkeilaus tukee myös reaaliaikaista raportointia, kun aineistot yhdistetään nykyaikaisiin pilvipalveluihin ja mittausjärjestelmiin (Laser Scanning n.d.).

Laserkeilauksen perusperiaatteet ja teknologiat

Laserkeilauksessa käytetään lyhyitä laserpulsseja, joiden heijastumisajat mitataan ja muunnetaan etäisyyksiksi. Näiden mittausten avulla muodostetaan pistepilvi, joka kuvaa kohteen pintaa kolmiulotteisesti (3D Laser Scanning n.d.). Laserkeilaimet voivat olla joko terrestriaalisia (kiinteitä) tai mobiileja (kannettavia tai ajoneuvoihin asennettuja), joilla on erilaiset sovellusalueet (Mobile Laser Scanning vs Terrestrial Laser Scanning 2018). Mittaustarkkuus ja -nopeus riippuvat laitteiston teknisistä ominaisuuksista sekä ympäristöolosuhteista (3D Laser Scanning n.d.).

Maalaserkeilaimet eli terrestriaaliset laserkeilaimet (TLS) ja mobiililaserkeilaimet (MLS)

TLS-laitteet asennetaan kiinteästi mittauspaikealle, ja ne mahdollistavat erittäin tarkan, staattisen ympäristön dokumentoinnin. Ne soveltuvat erityisesti pienemmille työmaille ja sisätiloihin, joissa vaaditaan millimetriluokan tarkkuutta. Mobiilit laserkeilausjärjestelmät (MLS) puolestaan mahdollistavat suurempien alueiden nopean ja jatkuvan mittauksen ajoneuvoon tai jalankulkijaan asennettuna. Niiden etuna on liikkuvuus, mutta niiden mittaustarkkuus on tyypillisesti jonkin verran

heikompi kuin kiinteillä TLS-laitteilla. (Case Study: Mobile Laser Scanning vs Terrestrial Laser Scanning 2018.)

Laserkeilauksen integrointi GNSS-mittauksiin

Laserkeilauksen yhdistäminen GNSS-paikannukseen tarjoaa työmaille tehokkaan tavan tuottaa paikkatietoa mittausdataa (Bürkland 2022, 18-19). GNSS:n avulla voidaan määrittää keilaimen tarkka sijainti ja orientaatio, mikä mahdollistaa pistepilvien georeferoinnin reaaliajassa tai jälkikäsitteilyssä (Pekkala 2015, 6, 10, 13). Tämä yhdistelmä on erityisen hyödyllinen suurilla, avoimilla työmaille, joissa tarkka sijaintitieto on keskeistä etenemäseurannan kannalta (Bürkland 2022, 50-51). Lisäksi GNSS-integraatio mahdollistaa mittausaineistojen yhdistämisen muihin järjestelmiin, kuten 3D-mallinnukseen ja rakennusautomaation (Pekkala 2015, 10, 70).

Keilauksen tarkkuus ja käyttörajoitteet

Laserkeilauksen tarkkuus vaihtelee laitteiston, mittausetäisyyden ja ympäristötekijöiden mukaan. TLS-järjestelmillä saavutetaan tyyppillisesti millimetriluokan tarkkuus lyhyillä etäisyyksillä (Kuitunen 2021, 26-27). MLS:n tarkkuus on yleensä senttimetriluokkaa, mikä on usein riittävä infrarakentamisen yleisiin tarpeisiin, mutta se vaatii huolellista kalibrointia ja ympäristöolosuhteiden huomiointia (Haavikko & Selkälä 2018, 14-16). Käyttörajoitteita ovat mm. huono näkyvyys, pöly ja sääolosuhteet, jotka voivat heikentää laserpulsseihin perustuvan mittauksen luotettavuutta (mts. 13). Lisäksi suurten pistepilviaineistojen käsittely vaatii tehokkaita tietojärjestelmiä ja pilvipalveluratkaisuja, joiden toteutus voi olla haastavaa erityisesti keskisuurille yrityksille (Vanhala 2024, 22-23, 100-102, 110-111).

2.3 Tekoäly rakennusalan reaaliaikaisessa raportoinnissa

Rakennusalan digitalisaatio ja automatisointi ovat edellyttäneet tehokkaiden datankäsittely- ja analysointimenetelmien käyttöönottoa, joista tekoäly (Artificial Intelligence, AI) on noussut keskeiseksi tekijäksi. Tekoäly mahdollistaa suurten ja monimuotoisten datamassojen analysoinnin sekä älykkäiden päätöksentekoprosessien toteuttamisen reaaliaikaisesti työmaiden etenemäraportoinnissa (Bock & Linner 2015). Tekoälyn soveltaminen lisää raportoinnin tarkkuutta, nopeuttaa ongelmien havaitsemista ja parantaa resurssien käyttöä.

Tekoälyn peruseriaatteet ja sovellusalueet

Tekoäly voidaan määritellä tietojenkäsittelytieteeksi, joka pyrkii luomaan järjestelmiä, jotka jäljittelevät ihmisen kognitiivisia toimintoja, kuten oppimista, päättelyä ja ongelmanratkaisua (Russell & Norvig 2010, 1). Rakennusalalla tekoälyä hyödynnetään erityisesti datan analysointiin, ennustamiseen ja automaattiseen päätöksentekoon. Sovellusalueita ovat muun muassa työmaan edistymisen seuranta, laadunvalvonta, resurssien optimointi sekä riskienhallinta (Pouryaghoubi & Mohammadi 2023).

Koneoppiminen ja syväoppiminen työmaan seurannassa

Koneoppiminen (Machine Learning, ML) on tekoälyn osa-alue, jossa tietokoneet oppivat malleja suurista tietoaaineistoista ilman eksplisiittistä ohjelmointia (Mitchell 1997, 1-3). Syväoppiminen (Deep Learning, DL), joka pohjautuu keinotekoisiiin neuroverkkoihin, on edennyt merkittävästi viime vuosina ja soveltuu erityisesti monimutkaisten kuvien ja signaalien analysointiin (LeCun, Bengio & Hinton 2015, 436). Työmaan reaaliaikaisessa raportoinnissa koneoppimismenetelmiä käytetään esimerkiksi pistepilviaineistojen analysointiin, poikkeamien tunnistamiseen sekä koneiden automaattiseen paikannukseen ja toimintojen optimointiin (Omrany, Al-Obaidi, Husain & Ghaffarianhoseini 2023, 11).

Tekoälyn käytön haasteet rakennusalalla

Vaikka tekoäly tarjoaa merkittäviä hyötyjä, sen käyttöönotto rakennusalalla kohtaa useita haasteita. Ensinnäkin data on usein heterogeenista, epätäydellistä tai epästandardoitua, mikä vaikeuttaa luotettavien mallien rakentamista (Sacks, Brilakis, Pikas, Xie & Girolami 2020, e14-2). Lisäksi tekoälymallien koulutus vaatii suuria määriä laadukasta dataa, jota alan toimijoilla ei aina ole saatavilla. Rakennusala on myös perinteisesti hidas omaksuma uusi teknologioita, mikä hidastaa tekoälyn integrointia työprosessiin (Azhar 2011, 243). Eettiset kysymykset, kuten datan omistajuus ja läpinäkyvyys, korostuvat etenkin, kun käsitellään reaaliaikaista työmaan seurantadataa (Bersin 2019, 5).

2.4 Paikkatietoteknologiat ja niiden integrointi

Paikkatietoteknologiat ovat keskeisessä roolissa nykyaikaisessa infrarakentamisessa ja työmaan etenemäraportoinnissa, koska ne mahdollistavat erilaisten spatiaalisten tietojen tehokkaan hallinnan, analysoinnin ja visualisoinnin. Tieto paikkatietojärjestelmien (Geographic Information Systems, GIS) kautta yhdistyy usein GNSS- ja laserkeilausdatan kaltaiseen mittausaineistoon, mikä edellyttää kehittyneitä integrointimenetelmiä ja luotettavaa tiedonsiirtoa (Vosselman & Maas 2010).

Paikkatietojärjestelmät ja datan käsittely

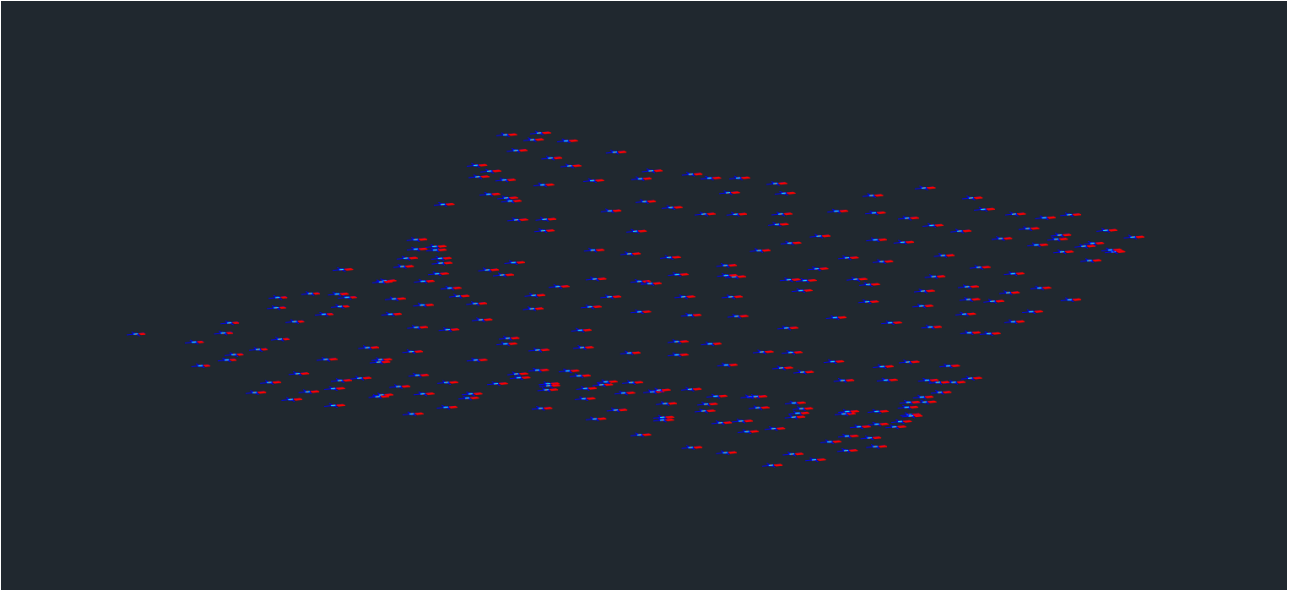
Paikkatietojärjestelmät toimivat alustana, johon erilaiset maantieteelliset ja rakennushankkeen mittausdatan muodot kootaan, analysoidaan ja esitetään käyttäjälle havainnollisessa muodossa. GIS-järjestelmät mahdollistavat datan keruun, tallennuksen, muokkauksen ja analyysin, ja ne tukevat useita datatyyppejä, kuten rasterikuvia, vektoritietoa ja pistepilviä. Toimiva paikkatietojärjestelmä vaatii tehokkaita tiedonhallintaprosesseja, joilla varmistetaan datan eheys, ajantasaisuus ja yhteensopivuus eri lähteistä. (Longley 2015.)

GNSS- ja keilausdatan yhdistäminen paikkatietojärjestelmissä

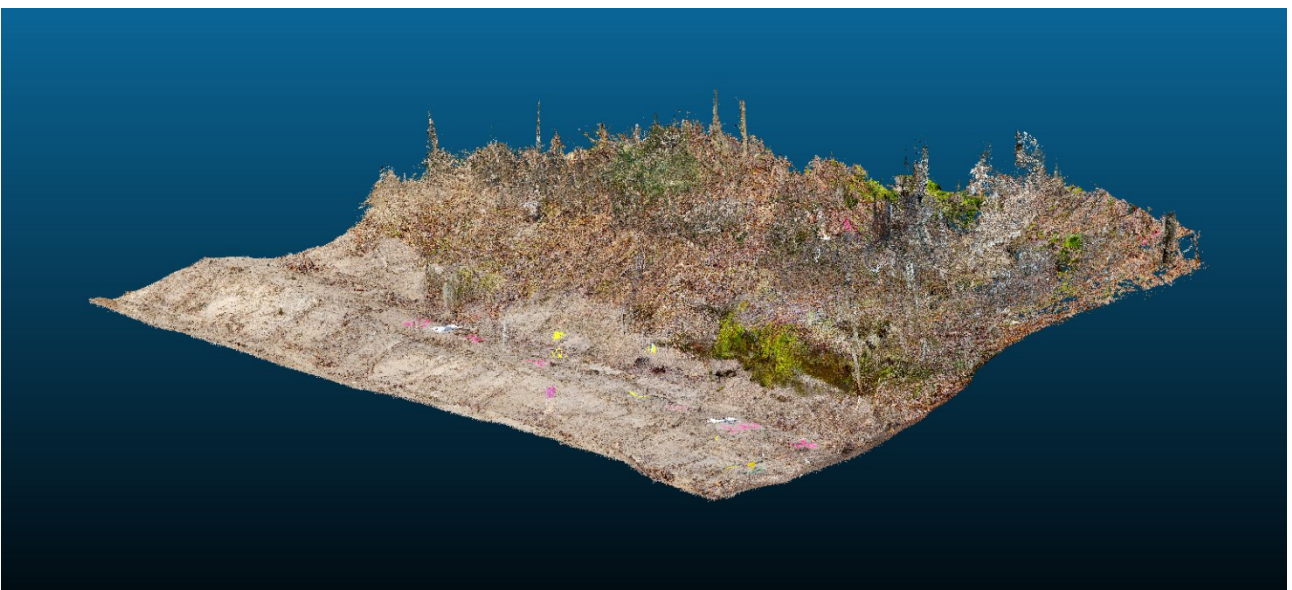
GNSS- ja laserkeilausdatan yhdistäminen paikkatietojärjestelmissä on keskeistä, jotta saadaan aikaan tarkka, moniulotteinen ja kattava kuva työmaan tilasta. GNSS tarjoaa korkeintaan metrin tai senttimetriluokan paikannustarkkuuden (riippuen järjestelmästä ja korjauksista) ja on mittaustihedeltään harvaa, kun taas laserkeilaus tuottaa tiheän pistepilven, joka kuvaa kohteiden pintarakennetta yksityiskohtaisesti. Integraatio edellyttää koordinaattijärjestelmien yhdenmukaistamista, datan muokkausta ja suodatusta sekä usein erillisten ohjelmistojen ja rajapintojen hyödyntämistä, jotta mittausaineisto voidaan yhdistää ja visualisoida tehokkaasti. (Borkowski & Kubrat 2024.)

Alla olevat kuvat esittelevät GNSS-mittauksella ja laserkeilauksella kerättyä aineistoa samalta alueelta, jotta mittaustapojen ero konkretisoituu selkeästi. Ensimmäisessä kuvassa on GNSS-mitattu aineisto. Tässä kallionpinnan mittausaineistossa on 271 pistettä. Kuten tyypillisesti, GNSS-aineisto koostuu yksittäisistä pisteistä, on määrältään kevyt ja kohdistuu nimenomaan siihen, mitä halutaan mitata (kallionpinta).

Toisessa kuvassa on laserkeilauksella tuotettu pistepilvi, joka sisältää yli 22 miljoonaa pistettä ja muodostaa yksityiskohtaisen 3D-kuvan ympäristöstä. Tällainen aineisto kattaa tyypillisesti kaiken, mikä jää mittauksen näkökenttään — maaston, rakennukset, kasvillisuuden ja muut kohteet, kuten kuvasta nähdään. Laserkeilausaineistoa voidaan kuitenkin käsitellä ja rajata monin eri tavoin. Siitä voidaan esimerkiksi poimia näkyviin vain tiettyjä osia, kuten paljas kallionpinta ilman kasvillisuutta. Tällainen rajaus mahdollistaa aineiston hyödyntämisen monissa erilaisissa käyttötarkoituksissa.



Kuvio 2. GNSS-mittausaineisto kallionpinnasta, 271 pistettä (Mitlas Oy 2025).



Kuvio 3. Laserkeilattu pistepilvi kallionpinnasta, 22 067 074 pistettä (Mitlas Oy 2025).

Tiedon siirto ja käsittely pilvipalveluissa

Pilvipalvelut ovat muodostuneet keskeiseksi teknologiseksi ratkaisuksi paikkatiedon hallinnassa ja jakelussa erityisesti suurten datamäärien, kuten laserkeilausaineistojen, kohdalla. Pilvipohjaiset järjestelmät mahdollistavat reaaliaikaisen tiedon päivityksen, monikäyttöjäisen pääsyn ja tiedon tehokkaan jakelun eri sidosryhmien välillä. Kuitenkin pilvipalveluiden käyttöön liittyy haasteita, kuten tiedonsiirron nopeus, tietoturva ja standardien puute, mikä vaatii erityishuomiota infrastruktuurin valinnassa ja käyttöönotossa. Suomessa käytössä olevat alan pilvipalvelut tarjoavat osaratkaisuja datan jakamiseen, mutta ne eivät vielä täysin tue esimerkiksi suurten pistepilviaineistojen käsittelyä tai automaattista integrointia kaikilta mittalaitteilta. (Krämer 2020, 2-6, 9-11.)

2.5 Reaaliaikainen työmaan etenemäraportointi

Reaaliaikainen työmaan etenemäraportointi on keskeinen osa modernia infrarakentamista, jossa tehokkuus, turvallisuus ja kustannusten hallinta korostuvat. Raportoinnin jatkuva ja ajantasainen tiedonsaanti mahdollistaa nopean reagoinnin muutoksiin ja poikkeamiin, mikä parantaa projektin läpivientiä ja vähentää riskejä. Reaaliaikainen raportointi tukee myös tiedon avoimuutta ja läpinäkyvyyttä eri sidosryhmien välillä, edistäen parempaa yhteistyötä ja päätöksentekoa. (The Benefits of Real-Time Data for Construction Projects 2024.)

Reaaliaikaisen raportoinnin merkitys infrarakentamisessa

Infrarakentamisessa työmaan etenemisen seuranta on erityisen haasteellista, koska työmaalla yhdistyy monia eri prosesseja, alihankkijoita ja muuttuvia olosuhteita. Reaaliaikainen etenemäraportointi mahdollistaa tarkemman ja ajantasaisen tilannekuvan muodostamisen, mikä vähentää viivästyksiä ja parantaa resurssien kohdentamista (The Benefits of Real-Time Data for Construction Projects 2024). Lisäksi se tukee laadunvarmistusta, koska poikkeamat havaitaan nopeasti ja korjaavat toimet voidaan käynnistää viipymättä. Reaaliaikaisuus ei kuitenkaan tarkoita pelkästään nopeutta, vaan myös tiedon oikeellisuutta ja luotettavuutta, jotka ovat onnistuneen raportoinnin kulmakiviä (Building Buildpeer: How Data Visualization Improves Decision-Making in Construction 2025).

Raportoinnin tarkkuuden ja luotettavuuden tekijät

Raportoinnin tarkkuus rakentuu ensisijaisesti käytettyjen mittausmenetelmien ja -laitteiden laatuun, mittausdatan käsittelyyn sekä tiedon integrointiin. Esimerkiksi GNSS-tekniikan ja laserkeilauksen yhdistäminen mahdollistaa korkearesoluutioisen ja kattavan tiedonkeruun, joka parantaa raportoinnin tarkkuutta (Varbla, Puust & Ellmann 2020, 477-492). Luotettavuus puolestaan edellyttää systemaattista laadunvalvontaa mittausaineistolle, virheiden minimointia sekä selkeitä prosesseja tiedon keräämiseksi, tallentamiseksi ja analysoimiseksi. Lisäksi tiedon päivittyminen reaaliajassa edellyttää toimivia tiedonsiirtoyhteyksiä ja pilvipohjaisten järjestelmien hyödyntämistä, mikä asettaa vaatimuksia IT-infrastruktuurille. (The Benefits of Real-Time Data for Construction Projects 2024.)

Tiedon visualisointi ja analysointi

Raportoinnin tehokkuus perustuu osaltaan siihen, miten kerätty ja käsitelty tieto esitetään käyttäjille. Visualisointi – kuten kartat, 3D-mallit ja edistymäkaaviot – auttaa havainnollistamaan monimutkaista datamassaa, jolloin päätöksenteko nopeutuu ja virheiden riski vähenee (Building Buildpeer: How Data Visualization Improves Decision-Making in Construction 2025). Analytiikka ja tekoälyyn perustuvat työkalut mahdollistavat datan syvemmän tulkinnan ja poikkeamien automaattisen havaitsemisen, mikä tukee ennakoivaa työmaahallintaa (Yang, Wilde, Menzel, Sheikh & Kuznetsov 2023). Kuitenkin visualisoinnin tulee olla käyttäjäystävällistä ja räätälöityä eri sidosryhmien tarpeisiin, jotta tieto toimii tehokkaasti tiedon jakamisen välineenä (Building Buildpeer: How Data Visualization Improves Decision-Making in Construction 2025).

Automatisoidut laadunvalvontamenetelmät infrarakentamisessa

Infrarakentamisen laadunvalvonta perustuu perinteisesti pistemäisiin mittauksiin ja visuaalisiin tarkastuksiin, jotka ovat usein ajallisesti viiveellisiä ja työvoimavaltaisia (Mirzaei, Arashpour, Asadi, Masoumi, Bai & Behnood 2022). Automatisoidut laadunvalvontamenetelmät tarjoavat keinon tehostaa laatutietojen keruuta, parantaa havainnointien objektiivisuutta sekä mahdollistaa reaaliaikaisen palauteprosessin (Liu, Liu & Sun 2024, 1-3). Erityisesti laserkeilaus ja siihen perustuvat piste-pilviaineistot ovat nousseet keskeiseen rooliin, sillä ne mahdollistavat kolmiulotteisen, tarkan ja

kattavan dokumentaation työmaan tilanteesta ilman manuaalista mittausta (Accurate as-built documentation: Enhancing construction projects with laser scanning 2024).

Kehittyneimmät menetelmät perustuvat koneoppimiseen ja tekoälyyn, joiden avulla voidaan analysoida mittausaineistoja ja tunnistaa automaattisesti poikkeamia suunnitelmista (Mirzaei, Arashpour, Asadi, Masoumi, Bai & Behnood 2022). Esimerkiksi koneoppimismallit voivat verrata pistepilviaineistoja suunnittelumalleihin ja tunnistaa virheet, vajaukset tai ylijäämät rakenteissa (Tan, Li & Wang 2020, 3-5). Tämä ei ainoastaan nopeuta laadunvarmistusta, vaan mahdollistaa myös virheiden aikaisen korjaamisen, mikä pienentää kokonaiskustannuksia ja minimoi viiveet (Liu, Liu & Sun 2024, 4-8).

2.6 Kustannus-hyötyanalyysi teknologioiden käyttöönotossa

Rakennus- ja infrarakentamisen digitalisaatioon liittyvien teknologioiden, kuten GNSS:n, laserkeilauksen ja tekoälyn, käyttöönotto edellyttää tarkkaa kustannus-hyötyanalyysiä. Tämä analyysi auttaa määrittämään, millä edellytyksillä investoinnit ovat perusteltuja ja kuinka ne vaikuttavat projektin kokonaistalouteen. Erityisesti infrarakentamisen monimutkaiset ja laajat projektit vaativat investointien skaalautuvuuden arviointia suhteessa työmaan kokoon ja teknologian hyödyntämismahdollisuuksiin (Yen, Lasky & Ravani 2014).

Kustannusten ja hyötyjen arviointi

Kustannusanalyyssissä on otettava huomioon sekä suorat investointikulut, kuten laitehankinnat, ohjelmistolisenssit ja koulutus, että epäsuorat kulut, kuten käyttöönoton aiheuttama työajan menetykset ja mahdolliset tekniset ongelmat alkuvaiheessa (Azizi, Taheripour & Faghihi 2024; Calculating Costs and Benefits for the use of Building Information Modelling in Public tenders: Methodology Handbook 2021, 12, 17). Hyötyjä arvioitaessa on huomioitava etenemäraportoinnin tarkkuuden parantuminen, työmaan tehokkuuden kasvu, virheiden ja uudelleentyön väheneminen sekä parempi tiedonhallinta (mts. 4, 9-10). Lisäksi digitaalisten ratkaisujen käyttö tukee projektin kestävyttä ja läpinäkyvyyttä, mikä on yhä tärkeämpää asiakkaiden ja viranomaisten näkökulmasta (Vindana 2024).

GNSS, laserkeilaus ja tekoäly: Kustannustehokkuus

GNSS-teknologia tarjoaa kustannustehokkaan tavan paikantaa ja seurata työmaan tilaa reaaliajassa erityisesti laajoilla työmailla, joissa perinteiset mittausmenetelmät ovat hitaampia ja työlämpiä. Laserkeilaus puolestaan tarjoaa erittäin tarkan ja visuaalisen datan, joka soveltuu erinomaisesti pienemmille tai vaativille työmaille, joissa tarvitaan yksityiskohtaisia kolmiulotteisia malleja (Goyal 2023). Tekoäly puolestaan tehostaa datan analysointia ja poikkeamien havaitsemista, mikä vähentää manuaalista työtä ja nopeuttaa päätöksentekoa. Näiden teknologioiden yhdistäminen voi tuottaa synergisiä hyötyjä, mutta investointien kannattavuus riippuu toteutuksen mittakaavasta ja työmaan vaatimuksista (The Economic Impact of 3D Laser Scanning on Construction Projects 2024).

Pienten ja suurten työmaiden vertailu, skaalautuvuus

Teknologisten ratkaisujen kustannustehokkuus on vahvasti sidoksissa työmaan kokoon, vaatimustasoon ja projektin keston. Pienillä työmailla, joissa tarvitaan korkearesoluutioista visuaalista aineistoa esimerkiksi urakan dokumentointiin tai laadunvarmistukseen, laserkeilauksen käyttö voi olla erityisen perusteltua. Tällöin keilauksen tarkkuus, kolmiulotteinen dokumentointi ja mahdollisuus nopeaan tilannekuvaan tukevat tehokasta raportointia ja voivat vähentää virheistä aiheutuvia lisäkustannuksia (Sapkota n.d.).

Suurilla työmailla taas GNSS-teknologia soveltuu erityisesti tilanteisiin, joissa keskeistä on etenevän jatkuva seuranta ja työvaiheiden paikantaminen laajalla alueella. GNSS-järjestelmien etuna on automaattinen datankeruu ja vähäinen tarve manuaaliseen mittaamiseen. Tekoäly ja koneoppiminen tukevat sekä GNSS:n että keilauksen data-analytiikkaa, ja voivat auttaa reaaliaikaisen raportoinnin automatisoinnissa. Näiden teknologioiden yhdistäminen voi tarjota huomattavaa tehokkuusetua suurissa projekteissa, joissa tietomäärät ovat suuria ja hallittavuus muuten haasteellista (Yen, Lasky & Ravani 2014).

Kustannukset voivat kuitenkin ylittää hyödyt erityisesti silloin, kun:

- Työmaa on hyvin lyhytkestoinen tai yksinkertainen, eikä kehittyneiden teknologioiden käyttöönotosta saada täyttä hyötyä takaisin esimerkiksi tarkkuudessa tai ajansäästössä (Olatunde, Gento, Okorie, Oyewo, Mewomo & Awodele 2022, 115).
- Organisaatiolla ei ole riittävää osaamista tai kapasiteettia hyödyntää teknologiaa tehokkaasti (Ribeirinho, Mischke, Strube, Sjödin, Blanco, Palter, Björck, Rockhill & Andersson 2020).
- Järjestelmät eivät ole yhteensopivia olemassa olevan IT-infrastruktuurin tai ohjelmistojen kanssa, mikä aiheuttaa ylimääräisiä kustannuksia integraatioiden rakentamiseen tai manuaaliseen datan siirtoon (Koeleman, Ribeirinho, Rockhill, Sjödin & Strube 2019).
- Datamäärät ylittävät käytettävissä olevan tallennus- ja käsittelykapasiteetin, mikä voi johtaa esimerkiksi pilvipalvelujen kalliisiin lisälisensseihin, tehottomaan tiedon siirtoon tai tietoturvariskeihin (Farhadi 2024).

Toimijoiden onkin arvioitava tarkoin käyttöönoton taloudellinen ja operatiivinen konteksti. Skaalautuvuuden näkökulmasta teknologian tuottama lisäarvo on suurin silloin, kun investointi voidaan hyödyntää useissa projekteissa tai se voidaan osana strategista kehittämistä jalkauttaa koko organisaation toimintatapoihin.

3 Opinnäytetyön tarkoitus, tavoitteet ja tutkimuskysymykset

3.1 Tavoitteet ja kehittämiskohde

Tämän opinnäytetyön tarkoituksena on tarkastella ja analysoida olemassa olevaa kirjallisuutta GNSS-mittauksen, laserkeilauksen ja tekoälyn hyödyntämisestä reaaliaikaisessa työmaan etenemäraportoinnissa infrarakentamisen kontekstissa. Rakennusalan digitalisaation nopea kehitys, muutuneet kustannusrakenteet sekä kasvavat laatu- ja raportointivaatimukset luovat painetta kehittää ja tehostaa työmaan toimintoja. Näihin haasteisiin vastaaminen edellyttää uusien teknologioiden ja menetelmien hyödyntämistä erityisesti työmaiden seurantaan ja dokumentointiin liittyen.

Tämä työ on toteutettu systemaattisena kirjallisuuskatsauksena, eikä siihen sisälly omaa menetelmäkehitystä tai empiiristä tutkimusta. Tarkoituksena on koota ja jäsentää olemassa olevaa tutkimustietoa ja käytäntöjä siten, että ne muodostavat teoreettisen perustan tulevalle menetelmien kehittämistyölle.

Kirjallisuuskatsauksen painopisteenä on erityisesti GNSS- ja laserkeilausteknologioiden yhdistäminen sekä tekoälyn soveltamispotentiaali tiedon analysoinnissa ja raportoinnissa. Näiden teknologioiden integrointi voi tulevaisuudessa tarjota keinon automatisoida työmaan seuranta- ja raportointiprosesseja, parantaen tehokkuutta ja luotettavuutta. Erityisesti pienille ja keskisuurille toimijoille, kuten tämän tutkimuksen taustalla olevalle toimeksiantajalle, kustannustehokkaiden ja skaalautuvien ratkaisujen tunnistaminen on keskeistä, jotta teknologian tarjoamaa lisäarvoa voidaan hyödyntää ilman kohtuuttomia investointeja.

3.2 Tutkimuskysymykset

Opinnäytetyön päätavoitteeseen vastataan seuraavien tutkimuskysymysten avulla:

- Miten GNSS-mittauksen, laserkeilauksen ja tekoälyn yhdistäminen voi parantaa työmaan etenemäraportoinnin tarkkuutta ja luotettavuutta?
- Mitkä ovat keskeisimmät haasteet näiden teknologioiden käytössä infrarakentamisen työmailla?
- Kuinka kustannustehokasta näiden teknologioiden hyödyntäminen on erityisesti pienillä ja keskisuurilla työmailla?
- Millaisia parhaita käytäntöjä voidaan tunnistaa teknologioiden käyttöönottoon ja niiden integrointiin osaksi reaaliaikaista raportointia?

Tutkimuskysymykset on muotoiltu siten, että ne suuntaavat tiedonhakua ja analyysiä kohti opinnäytetyön keskeisiä tavoitteita. Kysymykset kattavat sekä teknologioiden mahdollisuudet että niiden käytännön haasteet ja kustannustehokkuuden, mikä mahdollistaa tasapainoisen ja kriittisen tarkastelun aiheesta.

4 Tutkimuksen toteutus

4.1 Tutkimus- ja kehittämismenetelmät

Tässä tutkimuksessa toteutustapa on valittu siten, että se tukee tutkimuskysymysten kokonaisvaltaista ja syvällistä tarkastelua. Tutkimus pohjautuu systemaattiseen kirjallisuuskatsaukseen, joka on yksi yleisimmistä laadullisista menetelmistä erityisesti teknologioiden soveltuvuuden ja hyötyjen arvioinnissa. Kirjallisuuskatsauksen avulla on mahdollista koota, arvioida ja jäsentää olemassa oleva tutkimustieto systemaattisesti, mikä lisää tutkimuksen luotettavuutta ja tulosten yleistettävyyttä. (Hirsjärvi, Remes & Sajavaara 2009, 95–98.)

Tutkimusmenetelmänä käytetään systemaattista kirjallisuuskatsausta, joka mahdollistaa tutkimuskohteen laajan ja monipuolisen tiedon keruun ja analyysin. Menetelmä on perusteltu, koska kyseessä oleva teknologinen ilmiö kehittyy nopeasti, ja alan tutkimuskirjallisuus on laajaa sekä vaihtelevaa (mts. 88–90). Systemaattinen kirjallisuuskatsaus antaa tutkimukselle metodologisen rungon, jonka avulla voidaan ohjata tiedonhaun prosessia sekä arvioida ja vertailla eri lähteistä saatua tietoa kriittisesti (mts. 88–98).

Lisäksi tutkimuksessa sovelletaan kvalitatiivista sisällönanalyysiä, joka tukee teemojen tunnistamista ja teoreettisten käsitteiden jäsentämistä aineistosta. Tämä analyysimenetelmä on tarkoitukseenmukainen, koska sen avulla voidaan käsitellä sekä kvantitatiivista että kvalitatiivista tietoa sisältäviä julkaisuja ja muodostaa niistä kattava kokonaiskuva teknologioiden soveltuvuudesta työmaan etenemäraportointiin (Tuomi & Sarajärvi 2018, 60–65; Kyngäs 1998, 197-214).

4.2 Aineiston keruu ja kuvaus

Aineiston hankinnassa noudatetaan systemaattisen kirjallisuuskatsauksen hyviä käytäntöjä. Aineisto kerätään seuraavista kansainvälisesti arvostetuista tieteellisistä tietokannoista: Scopus, Web of Science, IEEE Xplore ja Google Scholar sekä suomalaisista tietokannoista kuten Finna, Theseus ja Helda. Hakusanoina käytetään teknologioita ja tutkimuskohdetta kuvaavia termejä, kuten "GNSS", "laser scanning", "terrestrial laser scanning", "artificial intelligence", "real-time construction progress reporting", "infrastructure construction monitoring" sekä näiden suomenkielisiä vastineita, kuten "GNSS", "laserkeilaus", "tekoäly", "reaaliaikainen työmaan etenemäraportointi"

ja ”infrarakentamisen valvonta”. Hakusanoja käytetään sekä yksittäin että yhdistelminä, jotta haun kattavuus ja osuvuus varmistetaan.

Valintakriteereinä ovat julkaisut, jotka käsittelevät kyseisten teknologioiden käyttöä työmaan etenemäraportoinnissa infrarakentamisen kontekstissa, ovat vertaisarvioituja ja julkaistu vuosien 2010–2025 välillä. Rajaus perustuu teknologioiden nopeaan kehitykseen, minkä vuoksi vanhempi aineisto voi olla vähemmän relevanttia. Karsintaan sisältyy myös kielirajoitus: aineisto rajoitetaan englanninkielisiin ja suomenkielisiin julkaisuihin, koska alan kansainvälinen tutkimus on enimmäkseen englanninkielistä, mutta kotimaisesta kontekstista saadaan hyödyllistä lisätietoa suomenkielisiä lähteistä.

Aineistosta poistetaan päällekkäisyydet, otsikon ja tiivistelmän perusteella epäolennaiset julkaisut sekä ne, joiden metodologia tai sisältö eivät vastaa tutkimuskysymyksiä. Lopulliseen aineistoon valikoituu noin 50 tutkimusta, jotka edustavat teknologioiden yksittäistä ja yhteiskäyttöä sekä niihin liittyviä hyötyjä ja haasteita.

Tutkimuksen luotettavuutta tukee kattava aineiston valinta, suomalaisista ja kansainvälisistä lähteistä muodostuva monipuolinen kokonaisuus sekä läpinäkyvä dokumentointi hakuprosessista. Lisäksi kriittinen lähdeaineiston arviointi varmistaa, että analyysissä painotetaan korkeatasoista ja relevanttia tutkimusta (Hakutulosten arviointi – Tiedonhankinnan LibGuide 2024).

4.3 Aineiston analyysi

Aineiston analyysissä hyödynnetään kvalitatiivista sisällönanalyysiä, jonka avulla jäsennetään aineiston keskeiset teemat suhteessa tutkimuskysymyksiin. Analyysi etenee kolmessa vaiheessa: ensin aineisto luokitellaan teknologioiden käyttöön liittyvien hyötyjen ja haasteiden mukaan, toisessa vaiheessa tarkastellaan teknologioiden integroinnin vaikutuksia raportoinnin tarkkuuteen, nopeuteen ja luotettavuuteen. Kolmannessa vaiheessa arvioidaan kustannus-hyöty -näkökulmaa ja soveltuvuutta erilaisiin työmaaympäristöihin.

Sisällönanalyysi mahdollistaa syvällisen ymmärryksen rakentamisen, koska se ei rajoitu pelkästään kvantitatiiviseen tiivistämiseen vaan avaa myös kontekstuaalisia ja laadullisia näkökohtia. Analyysin yhteydessä huomioidaan myös metodologiset rajoitteet, kuten tutkimusten vaihteleva laatu ja

mahdolliset vinoumat, jotka vaikuttavat tulosten yleistettävyyteen. (Vuori n.d.; Elo, Kajula, Tohmola & Kääriäinen 2022, 215-216.)

Analyysin pohjalta muodostetaan kokonaisvaltainen näkemys teknologioiden soveltuvuudesta ja vaikutuksista infrarakentamisen reaaliaikaiseen työmaan etenemäraportointiin. Lisäksi analysoidaan, missä tilanteissa ja millä edellytyksillä teknologioiden käyttöönotto on kustannustehokasta ja missä se voi olla haasteellista. Tämä auttaa konkretisoimaan tutkimustulosten käytännön merkitystä ja antaa suosituksia alan toimijoille.

5 Tulokset

5.1 Teknologioiden yhdistämisen mahdollisuudet

Tutkimusaineisto osoittaa, että GNSS-, laserkeilaus- ja tekoälyteknologioiden yhdistäminen luo kokonaisuuden, jonka vaikutus työmaan etenemäraportoinnin tarkkuuteen ja ajantasaisuuteen on merkittävä (ks. Taulukko 2; vrt. luvut 2.1, 2.2 ja 2.3). GNSS mahdollistaa työmaan laajojen alueiden tarkat paikkatiedot, mutta ei itsessään pysty kattamaan rakenteiden monimutkaisia kolmiulotteisia ominaisuuksia. Laserkeilauksen avulla saadaan yksityiskohtaista ja kolmiulotteista mittausdataa, joka täydentää GNSS:n tarjoamaa paikannustietoa ja mahdollistaa työmaan tilannekuvan yksityiskohtaisen mallintamisen (ks. luku 2.2). Tekoälyn rooli tässä kokonaisuudessa on automatisoida mittausdatan analysointi ja tuottaa älykkäitä, reaaliaikaisia raportteja sekä tunnistaa poikkeamia (ks. luku 2.3). Näin yhdistelmällä voidaan vastata infrarakentamisen tarpeisiin, joissa vaaditaan sekä tarkkuutta että nopeaa reagoitua työmaan muutoksiin. On kuitenkin huomioitava, että teknologioiden integrointi edellyttää yhteensopivaa infrastruktuuria ja riittävää osaamista, jotta järjestelmästä saadaan täysi hyöty (ks. luku 2.6; vrt. myös 2.4 ja Taulukko 2).

5.2 Keilauksen lisäarvo GNSS-mittaukseen verrattuna

Laserkeilaus lisää merkittävästi raportoinnin informatiivisuutta ja tarkkuutta GNSS-mittausten rinnalla (ks. luku 2.2; Taulukko 2). GNSS:n vahvuus on kustannustehokkuus, reaaliaikainen tarkkuus globaalissa koordinaatistossa, helppokäyttöisyys sekä soveltuvuus yksittäisten pisteiden mittaamiseen avoimessa maastossa ja laajoilla alueilla. Sen sijaan GNSS-mittaus ei tuota yksityiskohtaista

tietoa kohteen muodosta tai rakenteesta, mikä rajoittaa sen käyttöä tarkkaa tilannekuvaa vaativissa sovelluksissa. (Ks. luku 2.1.)

Laserkeilauksen etuna GNSS-mittaukseen nähden on kyky tuottaa tiheä ja kattava 3D-pistepilvi, joka mahdollistaa rakenteiden ja ympäristön yksityiskohtaisen mallinnuksen myös satelliittikatvealueilla (ks. luku 2.2). Tämä tarkkuus on olennaista etenkin laadunvalvonnassa ja työvaiheiden tarkassa dokumentoinnissa (vrt. Taulukko 2; ks. myös luku 2.5). Keilauksessa suurten datamäärien hallinta ja analysointi vaativat tehokkaita ohjelmistoja ja järjestelmiä, joten vaikka mittauslaitteiston hinta on nykyisin kilpailukykyinen, kokonaisresurssitarve on erityisesti tietojen käsittelyssä huomattavasti suurempi (ks. luku 2.6; Taulukko 2). Tästä syystä keilauksen käyttö on perusteltua erityisesti silloin, kun työn laatuvaatimukset tai projektin monimutkaisuus edellyttävät tällaista tarkkuutta. Pienissä ja yksinkertaisissa kohteissa keilauksen kustannukset ja käsittelyvaatimukset voivat ylittää siitä saatavan hyödyn, jolloin pelkkä GNSS-mittaus saattaa olla riittävä (vrt. luku 2.6; Taulukko 2).

5.3 Tekoälyn hyödyt ja haasteet rakennusalan raportoinnissa

Tekoäly tuo merkittäviä hyötyjä työmaan etenemäraportoinnin automatisointiin ja analytiikkaan (ks. luku 2.3; Taulukko 2). Sen avulla voidaan prosessoida suuria määriä mittausdataa nopeasti, tunnistaa poikkeamat sekä tuottaa helposti ymmärrettäviä visualisointeja ja raportteja ilman jatkuvaa manuaalista työtä (vrt. myös luku 2.5). Näin työmaan johto saa käyttöönsä reaaliaikaista tietoa, jonka pohjalta päätöksenteko tehostuu ja virheiden havaitseminen nopeutuu.

Tekoälyn käytössä ilmenee kuitenkin myös merkittäviä haasteita: algoritmien toimivuus riippuu pitkälti datan laadusta, joka työmaalla voi olla epäyhtenäistä ja puutteellista (ks. luku 2.3). Lisäksi tekoälyratkaisujen käyttöönotto vaatii investointeja osaamiseen ja tekniseen infrastruktuuriin (ks. luku 2.6). Tekoälyn hyötyjen realisoituminen voi viivästyä työmailla, joissa organisaatiokulttuuri ja teknologian käyttöönotto etenevät hitaammin (vrt. luku 2.6; Taulukko 2). On myös huomioitava, että tekoäly ei ole kaikissa tilanteissa paras ratkaisu — esimerkiksi hyvin yksinkertaisissa tai pienen mittakaavan projekteissa sen tuoma lisäarvo voi jäädä vähäiseksi (ks. Taulukko 2).

5.4 Reaaliaikaisen datan siirron toteutus ja vaikutus raportointiin

Reaaliaikainen datan siirto on keskeinen osa nykyaikaista työmaan etenemäseuranta, koska se voi mahdollistaa ajantasaisen ja luotettavan tiedonvälityksen mittalaitteilta suoraan eri sidosryhmille (ks. luku 2.4). Suomessa alan toimijat käyttävät laajasti pilvipohjaisia ratkaisuja, jotka integroituvat pääasiassa koneohjausjärjestelmiin ja mahdollistavat mittausdatan vastaanoton ja jakamisen sidosryhmille. Näiden palveluiden avulla mittausdata siirtyy sujuvasti työmaalta suunnittelijoille ja tilaajille, mikä nopeuttaa päätöksentekoa ja lisää projektin läpinäkyvyyttä (vrt. luku 2.5; Taulukko 2).

Vaikka nämä pilvipalvelut ovat merkittävä parannus perinteisiin tiedonsiirtotapoihin, kuten fyysisten tallennusvälineiden kuljettamiseen ja FTP-siirtoihin, niiden käyttöön liittyy haasteita. Esimerkiksi pistepilvidatan käsittely vaatii huomattavia laskenta- ja tallennusresursseja, joita käytössä olevat pilvipalvelut eivät pysty tällä hetkellä tarjoamaan, eivätkä näin ollen kykene käsittelemään suuria keilausaineistoja tehokkaasti (ks. luku 2.2; 2.4). Lisäksi kaikkien mittalaitteiden, kuten laserkeilainten, automaattinen integraatio pilveen ei aina ole suora, vaan edellyttää usein manuaalisia siirtoprosesseja tai erillisiä ohjelmistoratkaisuja, mikä voi heikentää tiedon reaaliaikaisuutta ja luotettavuutta (ks. Taulukko 2).

Toimeksiantajan näkökulmasta jatkotoimenpiteet liittyvät erityisesti mittausdatan automatisoidun keruun ja siirron tehostamiseen. Tähän kuuluvat muun muassa ohjelmistoinvestoinnit, jotka mahdollistavat erilaisten datalähteiden (GNSS, laserkeilaus) saumattoman integraation, sekä henkilöstön koulutus uusien työkalujen tehokkaaseen hyödyntämiseen (ks. luku 2.6). Lisäksi on tarpeen kehittää sisäisiä prosesseja datan laadunvalvontaan ja varmistaa, että tuotettu mittausaineisto on tarkkaa, avoimesti saatavilla ja helposti raportoitavissa tilaajalle (vrt. luku 2.5).

Näiden toimien onnistunut toteutus parantaa tiedonkulkua, nopeuttaa työmaan päätöksentekoa ja lisää projektin hallittavuutta sekä luottamusta asiakkaan suuntaan, mikä on keskeistä etenkin keskisuurille infrarakentamisen toimijoille (ks. Taulukko 2).

5.5 Kustannus-hyötyanalyysi reaaliaikaisen raportointijärjestelmän käyttöönotosta

Reaaliaikaisen raportointijärjestelmän käyttöönotto vaatii investointeja sekä teknologiaan että henkilöstön osaamiseen. Kustannuksiin vaikuttavat muun muassa laitteistohankinnat, ohjelmistolisenssit, koulutus sekä järjestelmän ylläpito ja integrointi olemassa oleviin prosesseihin (ks. luku 2.6). Toisaalta järjestelmän tuomat hyödyt näkyvät muun muassa työmaan tehokkuuden, laadunvalvonnan ja tiedonkulun paranemisena, jotka voivat pitkällä aikavälillä alentaa kokonaiskustannuksia ja lisätä projektin onnistumisen todennäköisyyttä (vrt. Taulukko 2).

Eryteisesti pienillä työmailla, joissa tallennetun datan määrä on suuri tai visuaalisen tiedon tarve korostuu esimerkiksi tarkkojen mittausten, geometrioiden tai monimutkaisten rakenteiden vuoksi, laserkeilauksen lisääminen GNSS-mittaukseen on kustannustehokasta (ks. luku 2.2; 2.6). Keilauksen tuottama tarkka kolmiulotteinen aineisto auttaa havaitsemaan virheet ja poikkeamat varhaisessa vaiheessa, mikä vähentää korjaustarpeita ja viivästyksiä (vrt. Taulukko 2). Näin ollen keilaus voi pienissä ja vaativissa kohteissa tuottaa merkittävää lisäarvoa, joka oikeuttaa investoinnin kustannukset.

Suurin hyöty järjestelmän käyttöönotosta saavutetaan kuitenkin laajoissa, kompleksisissa ja tietointensiivisissä projekteissa, joissa reaaliaikainen tiedonkulku ja tarkka seuranta mahdollistavat paremman kokonaisuuden hallinnan sekä nopeamman reagoinnin muutoksiin ja poikkeamiin (ks. luku 2.5; vrt. myös 2.6; Taulukko 2). Näissä tapauksissa investoinnit voivat tuoda merkittäviä säästöjä ja lisäarvoa projektin eri vaiheissa.

Toisaalta suuremmilla, vähemmän visuaalista tietoa tarvitsevilla työmailla kustannushyötysuhde voi olla erilainen, ja keilauksen käyttö voi olla perusteltua vain kriittisissä vaiheissa tai rajatuissa osissa työmaata. Tässä tilanteessa GNSS-mittaus riittää usein kattavaan etenemäseurantaan, ja keilausta voidaan hyödyntää täydentävänä mittausteknologiana (ks. luku 2.1; vrt. Taulukko 2).

Toimeksiantajan näkökulmasta on tärkeää arvioida kunkin työmaan erityispiirteet ja vaatimukset ennen keilauksen laajamittaista käyttöönottoa. Investointipäätökset tulee tehdä dataan perustuen, ja mahdollisuuksien mukaan hyödyntää pilotointihankkeita, joissa järjestelmän toimivuutta

ja taloudellista kannattavuutta voidaan testata käytännössä. Tämä lähestymistapa auttaa optimoimaan resurssien käyttöä ja varmistamaan järjestelmän tuottaman hyödyn.

5.6 Suositukset infrarakentamisen toimijoille

Tutkimuksen perusteella infrarakentamisen reaaliaikaisen työmaan etenemäraportoinnin kehittämiseksi suositellaan seuraavia toimenpiteitä:

1. Teknologioiden systemaattinen hyödyntäminen:

GNSS-mittauksen, laserkeilauksen ja tekoälyavusteisen analytiikan yhdistäminen on osoittautunut merkittävästi parantavan raportoinnin tarkkuutta ja vähentävän manuaalista työtä. Toimijoiden on suositeltavaa kehittää prosesseja, joissa eri teknologiat integroidaan saumattomasti keskenään ja muihin työmaan tietojärjestelmiin. Integraation tulee perustua standardeihin ja avoimiin rajapintoihin, jotta eri toimittajien järjestelmät voivat kommunikoida tehokkaasti.

2. Keilauksen käyttötarkoituksen tarkka arviointi:

Laserkeilausta suositellaan ensisijaisesti kohteisiin, joissa tarvitaan kolmiulotteista ja yksityiskohtaista mittausdataa, kuten monimutkaiset rakenteet tai suuret infrakohteet. Pienemmissä tai yksinkertaisissa hankkeissa keilauksen käyttöön liittyvät kustannukset voivat ylittää saavutettavat hyödyt. Tässä tapauksessa GNSS-mittaus voi riittää. Päätökset tulee tehdä kustannus-hyötyanalyysin perusteella.

3. Tekoälyn käyttöönoton vaiheistus ja datan laadun varmistaminen:

Vaikka tekoäly tarjoaa teoreettisesti merkittäviä hyötyjä datan analysointiin ja automaatioon, sen käytössä on havaittu haasteita erityisesti datan laadun ja järjestelmien soveltuvuuden osalta. Siksi tekoälyratkaisut tulee ottaa käyttöön vaiheittain, aloittaen pilottiprojekteilla, joissa testataan ja optimoidaan mallien toimivuutta ja datan laatua. Samalla on panostettava datan keruun standardointiin ja laadunvalvontaan, jotta tekoälypohjaiset analyysit tuottavat luotettavia tuloksia.

4. Reaaliaikaisen datan siirron varmistaminen luotettavilla pilvipalveluratkaisuilla:

Työmaan tiedonhallinnan ja etenemäraportoinnin tueksi suositellaan Suomessa käytössä olevien pilvipalvelualueiden hyödyntämistä. Samalla on kuitenkin tärkeää kartoittaa myös markkinoilta suurempia datamääriä käsitteleviä pilvipohjaisia palveluita, jotta työmaan laajemmat ja vaativammat tietotarpeet voidaan tulevaisuudessa tehokkaasti täyttää. Näiden

järjestelmien avulla tiedon siirto eri sidosryhmien välillä voidaan toteuttaa tehokkaasti ja turvallisesti, mikä parantaa tiedonkulkua ja reagointinopeutta. On suositeltavaa varmistaa, että valitut pilvipalvelut tukevat avoimia standardeja ja mahdollistavat integraation muihin työmaan järjestelmiin.

5. Kustannus-hyötyanalyysien säännöllinen päivittäminen:

Infrarakentamisen kohteiden erilaisuus vaatii, että kustannus-hyötyanalyysit tehdään aina erikseen hankekohtaisesti. On tärkeää ottaa huomioon kohteen koko, monimutkaisuus, käytettävissä olevat resurssit ja aikataulut. Näin voidaan välttää tilanteita, joissa teknologian käyttöönotto aiheuttaa tarpeettomia kustannuksia suhteessa saavutettaviin hyötyihin.

6. Koulutuksen ja osaamisen kehittäminen:

Uusien teknologioiden onnistunut hyödyntäminen edellyttää henkilöstön riittävää koulutusta ja osaamista. Suositellaan, että työmailla ja organisaatioissa järjestetään säännöllisiä koulutuksia GNSS-, keilaus- ja tekoälyteknologioiden käytöstä, datan tulkinnasta sekä järjestelmien hallinnasta. Lisäksi työryhmien sisällä tulee kannustaa jatkuvaan oppimiseen ja parhaiden käytäntöjen jakamiseen.

7. Jatkuva seuranta ja palautejärjestelmien rakentaminen:

Teknologioiden käyttöönoton vaikutuksia tulee seurata systemaattisesti työmailla. Suositellaan, että toimijat kehittävät mittaristoja, joiden avulla seurataan raportoinnin tarkkuutta, nopeutta ja luotettavuutta sekä kustannuksia. Palautetta tulee kerätä aktiivisesti käyttäjiltä ja sidosryhmiltä, jotta kehitystarpeet voidaan tunnistaa ajoissa ja prosesseja parantaa jatkuvasti.

Näiden suositusten avulla infrarakentamisen toimijat voivat tehostaa reaaliaikaista etenemäraportointia, parantaa työmaan tiedonhallintaa ja tukea digitalisaation strategisia tavoitteita. Toimeksiantajan tarpeet huomioiden suositukset auttavat saavuttamaan konkreettisia hyötyjä ja minimoimaan teknologian käyttöönottoon liittyviä riskejä.

6 Pohdinta ja johtopäätökset

6.1 Luotettavuus

Tutkimusaineisto koostuu sekä kansainvälisestä että kotimaisesta kirjallisuudesta. Vaikka kansainvälistä aineistoa on runsaasti, kotimaista tutkimusta on ollut saatavilla huomattavasti vähemmän, mikä heijastaa alan tutkimuksen yleistä tilaa Suomessa. Kotimaisen aineiston huomioiminen on

kuitenkin ollut tärkeää paikallisten sovellusten ja käytäntöjen tunnistamiseksi, mikä vahvistaa tutkimuksen relevanssia toimeksiantajan näkökulmasta.

Aineiston valinnassa on noudatettu systemaattisen kirjallisuuskatsauksen hyviä käytäntöjä. Aineiston valinta on rajattu vertaisarvioituihin julkaisuihin ja teknologioiden viimeaikaiseen kehitykseen vuosina 2010–2025, mikä takaa tutkimuksen ajantasaisuuden ja luotettavuuden. Tiedonhaku on dokumentoitu liitteeseen 1, mikä takaa haun läpinäkyvyyden ja toistettavuuden sekä mahdollistaa tutkimuksen metodologian kriittisen arvioinnin ja aineiston valinnan perusteluiden tarkastelun. (Johansson, Axelin, Stolt, Ääri, Leino-Kilpi, Tähtinen, Pudas-Tähkä, Routasalo, Virtanen, Salanterä, Flinkman & Kontio 2007.)

6.2 Eettisyys

Opinnäytetyö on toteutettu noudattaen tutkimuseettikan periaatteita ja hyvää tieteellistä käytäntöä, joita ohjaa Suomen tutkimuseettinen neuvottelukunta (TENK). Hyvä tieteellinen käytäntö edellyttää rehellisyyttä, huolellisuutta, läpinäkyvyyttä ja toisten työn kunnioittamista kaikissa tutkimuksen vaiheissa (Hyvä tieteellinen käytäntö ja sen loukkausepäilyjen käsitteleminen Suomessa 2023, 11). Tässä työssä ei käsitelty henkilötietoja, eikä tutkimukseen osallistunut ihmisiä, joten tutkimus ei vaatinut eettisen toimikunnan ennakoarviointia. Työ perustuu julkisesti saatavilla oleviin kirjallisiin lähteisiin, kuten tieteellisiin artikkeleihin, raportteihin ja verkkolähteisiin.

Eriyistä huomiota kiinnitettiin lähteiden käyttöön ja viittaamiseen, joka on keskeinen osa tieteellisen kirjoittamisen eettisyyttä. Kaikki työssä esitetyt toisten ajatukset, havainnot ja tutkimustulokset on asianmukaisesti viitattu alkuperäisiin lähteisiin. Viittaustapa on toteutettu Jyväskylän ammattikorkeakoulun opinnäytetöiden raportointiohjeen mukaisesti (5.2b Tekstiviitteiden merkintä n.d.). Kaikki lähteet, jotka on mainittu tekstissä, löytyvät myös lähdeluettelosta — eikä luetteloon ole sisällytetty sellaisia lähteitä, joita ei ole todella käytetty, mikä estää näennäsviittauksen.

Työssä ei ole käytetty plagiointia. Työssä käytetyt lähteet on joko parafrasattu huolellisesti tai lainattu suoraan asianmukaisin merkinnöin. Työn aitous on varmistettu Turnitin-plagiaatintunnistujärjestelmällä, jota JAMK käyttää laadunvarmistukseen (3.1 Tekstin samankaltaisuuden tarkistus n.d.). Lähteiden luotettavuuteen ja ajantasaisuuteen on kiinnitetty erityistä huomiota, sillä aihe

liittyy teknologisiin ratkaisuihin, jotka kehittyvät nopeasti. Tiedon lähteiksi on valittu pääosin vertaisarvioituja julkaisuja, viranomaistietoa ja tunnustettujen asiantuntijaorganisaatioiden tuottamaa materiaalia.

6.3 Tulosten tarkastelu suhteessa tietoperustaan

Tutkimuksen tulokset tukevat aiemmassa kirjallisuudessa (ks. Taulukko 2) esitettyä näkemystä siitä, että GNSS:n, laserkeilauksen ja tekoälyn yhdistäminen voi merkittävästi tehostaa työmaan etenemäraportointia. Tulokset vahvistavat käsitystä siitä, että näiden teknologioiden integrointi parantaa mittaustarkkuutta, vähentää manuaalista työtä ja nopeuttaa tiedonkäsittelyä. Samalla tutkimus tuo uusia näkökulmia siihen, miten teknologian käytännön hyöty realisoituu erilaisissa konteksteissa.

Aiempi tietoperusta on korostanut teknologioiden hyötyjä etenkin suurissa ja resursoiduissa hankkeissa, mutta tämä tutkimus osoittaa, että huolellisesti toteutettu, modulaarinen käyttöönotto mahdollistaa hyödyt myös keskisuurille toimijoille. Teknologioiden skaalautuvuus – eli mahdollisuus ottaa käyttöön vain ne komponentit, jotka ovat aidosti tarpeellisia kyseisessä kohteessa – parantaa saavutettavuutta ja kustannustehokkuutta. Esimerkiksi GNSS-teknologia voi olla riittävä yksinkertaisemmissa kohteissa, kun taas laserkeilaus ja tekoäly voidaan ottaa käyttöön vaihteittain monimutkaisemmissa projekteissa tai erityistarpeiden mukaan.

Tulokset tarkentavat tietoperustan oletuksia osoittamalla, että teknologian käyttöönoton kustannukset ja hyödyt eivät jakaudu lineaarisesti hankkeen koon mukaan. Pienissä ja yksinkertaisissa kohteissa investoinnit voivat edelleen olla haastavia perustella, mutta keskisuurille toimijoille tarjoutuu realistinen mahdollisuus hyödyntää teknologioita, mikäli käyttöönotto tehdään skaalautuvalla ja vaiheistetulla tavalla. Tämä havainto avaa uusia näkymiä myös markkinakehitykselle ja teknologiatarjonnan muotoilulle.

Yhteenvedona tutkimus paitsi vahvistaa olemassa olevaa tietopohjaa teknologioiden hyödyistä, myös täydentää sitä osoittamalla, että onnistunut käyttöönotto edellyttää kontekstisidonnaista lähestymistapaa, jossa otetaan huomioon modulaarisuus, datan laatu, algoritmien sopivuus ja taloudellinen realiteetti. Näin tutkimus tukee infrarakentamisen digitalisaation laajempaa ja käytännönläheisempää edistämistä.

Taulukko 2. Opinnäytetyön tulosten ja tieteellisen tutkimuksen vastaavuus.

| Tulos | Tutkimus | Teknologia(t) | Keskeiset havainnot | Julkaisu |
|--|---|--|---|---|
| GNSS-RTK parantaa mittausten tarkkuutta ja nopeutta | Heikkilä, Vermeer, Makkonen, Tyni & Mikkonen 2016 | GNSS-RTK | Viisi GNSS-RTK-järjestelmää arvioitiin; useimmat saavuttivat muuttaman senttimetrin tarkkuuden. RTK-GNSS soveltuu tarkkoihin rakennusmittauksiin, kun järjestelmät on kalibroitu ja käyttäjät koulutettu. | Proceedings of the 33rd ISARC, Auburn, USA |
| GNSS-RTK mahdollistaa tarkan toteutumamallinnuksen | Varbla, Puust, Eilmann 2020 | RTK-GNSS-varusteltu UAV, fotogrammetria | RTK-GNSS-georeferointi ja fotogrammetria yhdistettynä saavuttivat alle 2,8 cm RMSE:n maanpäälliseen laserkeilaukseen verrattuna. Integroitu georeferointi mahdollisti korkean paikkatarkkuuden vähäisellä määrällä kiintopisteitä. | Survey Review, 53(381), 477–492 |
| GNSS-RTK ja AI tukevat tehokkaampaa työn etenemän hallintaa ja päätöksentekoa | Lopes & Trabanco 2022 | GNSS-RTK, tekoäly | GNSS-RTK parantaa rakennuskoneiden ohjauksen tarkkuutta ja tuottavuutta; tekoälyn yhdistäminen GNSS-RTK:hon voi entisestään tehostaa päätöksentekoa ja työn etenemän hallintaa. | Engenharia Civil UM, 50, 101402 |
| Laserkeilaus mahdollistaa yksityiskohtaisen geometrian mittauksen | Gikas 2012 | Terrestriaalinen laserkeilaus (TLS) | TLS mahdollistaa tarkan geometrian dokumentoinnin tunnelin kaivannoissa; tiheät pistepilvet tukevat yksityiskohtaisten mallien luomista ja laadunvalvontaa; laserkeilaus on tarkempaa kuin perinteiset mittausmenetelmät. | Sensors, 12(8), 11249–11270 |
| Laserkeilauksen ja GNSS:n yhdistäminen mahdollistaa yksityiskohtaisen 3D-toteumamallinnuksen | Abdel-Maksoud 2024 | UAV-LiDAR, GNSS-RTK, fotogrammetria, GCP (Ground Control Points) | UAV-LiDAR ja GNSS-RTK yhdistelmä tuottaa senttimetrin tason tarkkuuden 3D-mallinnuksessa; GNSS-signaalin estymisen haasteet voidaan korjata fotogrammetrian ja GCP:n avulla; 3D-mallit voidaan integroida BIM- ja BMS-järjestelmiin | Arabian Journal of Geosciences, 17(144) |
| Laserkeilaus ja AI tukevat muodonmuutosten seuranta ja analyysia työmailla | Dey, Sharma, Raj & Biswas 2024 | LiDAR, koneoppiminen (ML) | LiDAR- ja ML-yhdistelmä mahdollistaa pienten rakenteellisten muodonmuutosten tarkan automaattisen havaitsemisen; pistepilvien | 15th International Conference on Computing Communication and Networking |

| | | | | |
|--|--|---|--|---|
| | | | segmentointi ja analyysi mahdollistavat laajojen alueiden seurannan ilman fyysisiä mittauksia. | Technologies (ICCCNT) |
| AI tehostaa mittausdatan analysointia | Himeur, Elnour, Fadli, Meskin, Petri, Rezgui, Bensaali & Amira 2023 | Tekoäly, big data-analytiikka, rakennusautomaatio | AI ja big data parantavat rakennusautomaation tehokkuutta analysoimalla suuria mittausdatamääriä; AI mahdollistaa laadukkaamman ja nopeamman päätöksenteon rakennusprosessissa; haasteina datan laatu ja saatavuus. | Artificial Intelligence Review, 56(6), 4929–5021 |
| AI vähentää GNSS-datan virheitä ja parantaa mittaustulosten luotettavuutta | Zhang, Wang & Li 2025 | Koneoppiminen, GNSS, satelliittinavigointi | Kehitetty dataohjautuva malli analysoi systemaattisesti virheiden aiheuttajia, kuten satelliittien korkeus- ja atsimuuttikulmia sekä signaalin laatumittareita, parantaen paikannustarkkuutta erityisesti haastavissa ympäristöissä. | Satellite Navigation, 6(1), 1–24 |
| GNSS, laserkeilaus ja AI mahdollistavat kattavan, reaaliaikaisen tilannekuvan | Lappalainen, Uusitalo, Seppänen, Peltokorpi, Reinbold, Ainamo, Görsch & Nyqvist 2024 | GNSS, laserkeilaus, tekoäly, digitaaliset tilannekuvajärjestelmät | Digitaalisten tilannekuvajärjestelmien käyttö mahdollistaa infrastruktuurihankkeiden etenemisen, resurssien ja riskien tehokkaan seurannan reaaliaikaisen datan avulla. Teknologiat tukevat päätöksentekoa ja ongelmanratkaisua työmailla. | Buildings, 14(7), 2035 |
| GNSS ja laserkeilaus tukevat tarkkaa asemointia; GNSS ja LiDAR mahdollistavat laajamittakaavaisen rakennuskohdeiden kartoituksen | Tang, Sun, Lu, Jia & Tang 2024 | GNSS RTK, laserkeilaus, automaattinen asemointialgoritmi | Kehitetty algoritmi yhdistää GNSS RTK:n ja laserkeilauksen tarkkaan automaattiseen asemointiin, parantaen asemointitarkkuutta laajamittakaavaisissa infrastruktuuriprojekteissa. | Sensors, 24(3), 1050 |
| GNSS-LiDAR mahdollistavat vertailtavan kartoituksen | Vu, Nguyen, Ta & Van 2023 | GNSS RTK, UAV-LiDAR, UAV-fotogrammetria | GNSS RTK ja UAV-LiDAR tuottavat vertailukelpoista korkeustietoa avoimissa olosuhteissa. UAV-LiDAR osoittautui luotettavammaksi tiheässä kasvillisuudessa. | IOP Conference Series: Materials Science and Engineering, 1289(1), 012098 |
| AI-tekniikan käyttöönotto edellyttää organisaatiolta osaamista ja modulaarisia ratkaisuja | Sankhla 2024 | Tekoäly, modulaarinen arkkitehtuuri | Modulaarinen arkkitehtuuri mahdollistaa tekoälyn skaalautuvan ja joustavan integroinnin organisaation järjestelmiin. Osaaminen on keskeistä tehokkaassa käyttöönotossa. | ITPro Today |

| | | | | |
|---|---|--|---|---|
| Digitaalisten teknologioiden käyttöönotto tukee laadun parantamista ja manuaalisen työn vähenemistä | Edwards 2025 ; Genova, Cabrera & Hoskere 2024 | GNSS, laserkeilaus, AI ; Laserkeilaus, AI | GNSS- ja laserkeilausteknologioiden sekä tekoälyn yhdistäminen mahdollistaa tarkan ja tehokkaan laadunvalvonnan rakennustyömailla, parantaa päätöksentekoa ja vähentää virheitä. | Survey Maximum ; arXiv |
| Laserkeilaus ja tekoälyn yhdistäminen parantaa analyysin tarkkuutta ja alentaa kustannuksia rakennusvaiheessa | Waqar, Chen, Li & Zhang 2025 | Laserkeilaus (LiDAR), tekoäly | LIDAR-tekniikan integrointi rakennusprojekteihin parantaa aikatehokkuutta 27 %, alentaa kustannuksia keskimäärin 12,6 %, parantaa turvallisuutta 14,8 % ja vähentää ympäristövaikutuksia 37,2 %. | Ain Shams Engineering Journal, 16(2), 103258 |
| Modulaariset teknologiaratkaisut tukevat rakennustekniikan kasvua keskisuurissa yrityksissä | Zhang & Liu 2023 | GNSS, laserkeilaus (LiDAR), tekoäly (AI), BIM, IoT | Tutkimus osoittaa, että Construction 4.0 -teknologioiden (GNSS, LiDAR, AI, IoT, BIM, big data, pilvipalvelut, autonomiset koneet, dronet) vaiheittainen ja modulaarinen käyttöönotto vähentää riskejä ja tukee skaalautuvaa kasvua erityisesti keskisuurissa rakennusyrityksissä. | 27th International Symposium on Advancement of Construction Management and Real Estate, 291–299 |

6.4 Tekniikan käyttöön liittyvät haasteet ja kehitysehdotukset

Tutkimuksen aikana tunnistettiin merkittäviä haasteita erityisesti mittausdatan laadun varmistamisessa ja eri teknologioiden integroinnissa. GNSS- ja laserkeilausdata eroavat toisistaan mittausperiaatteidensa vuoksi, mikä aiheuttaa yhteensovittamisen vaikeuksia yhdistettäessä tietoa yhdeksi yhtenäiseksi kokonaisuudeksi. Datan laatuun vaikuttavat muun muassa mittauslaitteiden kalibrointi, mittajaan osaaminen ja asenne, ympäristöolosuhteet sekä työmaan monimuotoisuus. Integroinnin haasteita korostaa myös käytössä olevien pilvipalveluiden ja tiedonjakopalveluiden rajapintojen heterogeisuus sekä tiedonsiirron kapasiteetin rajallisuus, mikä saattaa hidastaa reaaliaikaista tiedonsiirtoa ja heikentää tiedon luotettavuutta. Erityisesti raskaat pistepilviaineistot kuormittavat tiedonsiirtojärjestelmiä, mikä voi aiheuttaa viiveitä ja tiedon pirstoutumista. Näiden haasteiden ratkaiseminen edellyttää yhtenäisten standardien ja avoimien rajapintojen kehittämistä sekä järjestelmien saumattomampaa yhteensopivuutta.

Tekoälyn soveltamisessa infrarakentamisen raportointiin korostuvat sekä tekniset että käytännölliset kehitystarpeet. Ensinnäkin tekoälyalgoritmien toimivuus on riippuvainen riittävästä ja laadukkaasta datasta, jota työmailta ei aina saada optimaalisesti. Lisäksi rakennusalan erityispiirteet, kuten monimuotoiset olosuhteet ja työvaiheiden vaihtelevuus, vaativat tekoälymalleilta joustavuutta ja kykyä käsitellä epätäydellistä tai epäjohdonmukaista dataa. Tämä asettaa haasteita perinteisten koneoppimismenetelmien soveltamiselle ja edellyttää alakohtaisten räätälöityjen ratkaisujen kehittämistä. Toiseksi tekoälyn käyttöönoton organisaatiokulttuuriset ja osaamiseen liittyvät haasteet korostuvat: rakennusalan toimijoiden on investoitava henkilöstön koulutukseen ja ymmärrykseen tekoälyteknologioiden mahdollisuuksista ja rajoitteista, jotta teknologia saadaan tehokkaasti käyttöön.

Kehitysehdotuksina korostetaan mittausdatan laadunhallinnan parantamista esimerkiksi automaattisilla laadunvalvontamenetelmillä sekä tiedon yhtenäistämistä kansainvälisten standardien mukaisesti. Integraatiota helpottaa modulaaristen ja avoimien pilviratkaisujen sekä yhteentoimivien rajapintojen kehittäminen. Tekoälyn osalta suositellaan investointeja tutkimukseen, joka keskittyy erityisesti rakennusalan vaatimukseen räätälöityjen mallien kehittämiseen, sekä käytännön pilottihankkeisiin, joissa voidaan testata ja optimoida tekoälyratkaisuja työmaan todellisissa olosuhteissa. Näin voidaan varmistaa teknologian tehokas ja luotettava hyödyntäminen infrarakentamisen reaaliaikaisessa etenemäraportoinnissa.

Tutkimuksen toimeksiantajan on ensisijaisesti panostettava mittausdatan laadunhallinnan ja standardisoinnin kehittämiseen, jotta GNSS- ja keilausmittausten yhdistäminen tuottaa luotettavaa ja tarkkaa aineistoa. Tämä edellyttää selkeiden toimintamallien ja ohjeistusten laatimista mittausprosessin kaikissa vaiheissa sekä henkilöstön kouluttamista näiden vaatimusten mukaiseen työskenteelyyn. Lisäksi toimeksiantajan tulee investoida kaluston ja ohjelmistojen yhteensopivuuden varmistamiseen, sillä suomalaiset, käytössä olevat pilvipalvelut, eivät automaattisesti tue kaikkien mittalaitteiden suoraa tiedonsiirtoa tai pysty käsittelemään raskaita pistepilviaineistoja tehokkaasti. Tämän vuoksi on tarpeen kehittää ja ottaa käyttöön erilliset, omaan IT-ympäristöön integroitavat datan käsittely- ja esikäsittelyratkaisut, jotka mahdollistavat mittausdatan yhdistämisen, laadunvalvonnan ja nopean raportoinnin tilaajalle.

Tietojärjestelmien integraatiossa tulee kiinnittää huomiota avoimiin formaatteihin ja rajapintoihin, jotta eri laitteiden tuottama data voidaan siirtää ja yhdistää saumattomasti ilman tiedonhukkaa tai viivettä. Toimeksiantajan kannattaa myös pilotoida tekoälypohjaisia analytiikkaratkaisuja, jotka tukevat automaattista virheiden tunnistusta ja datan rikastamista, mutta tekoälyn käyttöönotossa on edettävä asteittain ja kriittisesti arvioiden käytön hyödyt suhteessa kustannuksiin ja teknisiin haasteisiin.

Raportoinnin avoimuuden ja läpinäkyvyyden varmistamiseksi toimeksiantajan on rakennettava selkeät tiedonhallinnan prosessit, joilla mittaustulokset ja analyysit dokumentoidaan ja jaetaan sidosryhmille ajantasaisesti ja helposti saavutettavassa muodossa. Tämä vaatii myös panostusta henkilöstön osaamisen kehittämiseen, jotta teknologiaa osataan hyödyntää tehokkaasti käytännön työmaatoiminnoissa. Näillä toimenpiteillä toimeksiantaja voi saavuttaa reaaliaikaisen, laadukkaan ja kustannustehokkaan työmaan etenemäraportoinnin, joka tukee hankkeiden onnistumista ja parantaa kilpailukykyä infra-alalla.

6.5 Jatkotutkimusaiheet ja tulevaisuuden kehityssuunnat

Jatkossa olisi tärkeää toteuttaa empiirisiä tutkimuksia, joissa selvitetään teknologioiden käytön vaikutuksia konkreettisesti suomalaisissa infrarakentamisen projekteissa. Erityisesti kustannus-
hyötyanalyysin tulisi perustua taloudellisesti konkreettiseen mallintamiseen, joka ottaa huomioon niin investointien suorat kustannukset kuin myös teknologioiden tuomat säästöt ja tehokkuus-
hyödyt työmaan eri vaiheissa. Lisäksi käyttöönoton vaikutukset työmaan toimintaan, turvallisuuden ja henkilöstön työkuormaan vaativat lisää tutkimusta ja syvällisempää ymmärrystä. Kotimaisen tutkimuksen määrän lisääminen on keskeistä, jotta paikalliset erityispiirteet ja toimintaolosuhteet voidaan huomioida tarkasti ja näin varmistaa teknologioiden tehokas hyödyntäminen.

Samalla tekoäly ja pilvipalvelut tulevat muodostamaan entistä keskeisemmän osan etenemäraportointia. Esimerkiksi 5G-verkkojen ja automaattisten tiedonsiirtoratkaisujen hyödyntäminen voi parantaa reaaliaikaisen datan saatavuutta ja analytiikan tarkkuutta jo lähitulevaisuudessa. Jatkossa on tärkeää kehittää teknologioiden yhteentoimivuutta ja avoimia rajapintoja, jotka helpottavat tiedon jakamista eri järjestelmien välillä ja tukevat näin infrarakentamisen digitalisaatiota kokonaisvaltaisesti.

On mahdollista, että tulevaisuudessa tiedonsiirto- ja datankäsittelyratkaisut ovat mullistumassa ja tulevat toimimaan täysin eri tavoin kuin ne tänä päivänä ymmärrämme. Kehittyvät teknologiat, kuten 6G, edge computing sekä hajautetut laskentaverkot, voivat mullistaa reaaliaikaisen datan siirron ja käsittelyn, mikä poistaa nykyiset kapasiteetti- ja yhteensopivuushaasteet. Tämä kehitys voi tehdä nykyisistä integraatio- ja tiedonsiirto-ongelmista merkityksettömiä, jolloin teknologioiden hyödyntäminen infra-alalla tehostuu merkittävästi ilman nykyisiä rajoitteita.

Lähteet

3.1 Tekstin samankaltaisuuden tarkistus. N.d. JAMK: Opinnäytetyön raportointiohje. Jyväskylän ammattikorkeakoulu. <https://help.jamk.fi/raportointiohje/fi/3-kirjoittamisprosessi/tekstin-samankaltaisuuden-tarkistus/>.

5.2b Tekstiviitteiden merkintä. N.d. JAMK: Opinnäytetöiden raportointiohje. Jyväskylän ammattikorkeakoulu. <https://help.jamk.fi/raportointiohje/fi/5b-lahteiden-kaytto-2/5-2-b-tekstiviitteiden-merkinta/>.

3D Laser Scanning. N.d. Autodesk. Viitattu 24.5.2025. <https://www.autodesk.com/solutions/3d-laser-scanning>.

Abdel-Maksoud, H. 2024. Combining UAV-LiDAR and UAV-photogrammetry for bridge assessment and infrastructure monitoring. Arab J Geosci 2024, 17, 144. <https://doi.org/10.1007/s12517-024-11897-5>.

Accurate as-built documentation: Enhancing construction projects with laser scanning. 2024. McNeil Engineering. Viitattu 24.5.2025. <https://www.mcneilengineering.com/accurate-as-built-documentation-enhancing-construction-projects-with-laser-scanning/>.

Achieving Centimeter Accuracy with GNSS Real-Time Kinematic Techniques. 2025. CHC Navigation. Viitattu 24.5.2025. <https://navigation.chcnav.com/about/news/2025/CHC-Navigation-Achieving-Centimeter-Accuracy-with-GNSS-Real-Time-Kinematic-Techniques>.

Azhar, S. 2011. Building Information Modeling (BIM): Trends, Benefits, Risks, and Challenges for the AEC Industry. Leadership and Management in Engineering, 11, 3, 241–252. [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)LM.1943-5630.0000127](https://doi.org/10.1061/(ASCE)LM.1943-5630.0000127).

Azizi, M., Taheripour, S. & Faghihi, V. 2024. Cost–benefit analysis of building information modeling implementation in construction projects: evidence from Iran. Iran J Comput Sci 2024, 7, 501–514. Viitattu 24.5.2025. <https://doi.org/10.1007/s42044-024-00182-z>.

Benefits of 3D Laser Scanning in Construction. 2025. Arrival3D. Viitattu 24.5.2025. <https://arrival3d.com/benefits-of-3d-laser-scanning-in-construction/>.

Bersin, J. 2019. HR Technology Market 2019: Disruption Ahead. Viitattu 24.5.2025. Saatavilla: https://oliver-dev.s3.amazonaws.com/2019/01/27/12/54/25/916/Tech_Disruptions.pdf.

Boquet, G., Vilajosana, X. & Martinez, B. 2024. Feasibility of Providing High-Precision GNSS Correction Data Through Non-Terrestrial Networks. Julkaisussa IEEE Transactions on Instrumentation and Measurement 2024, 73, 5503915. Viitattu 24.5.2025. <https://ieeexplore.ieee.org/stamp/stamp.jsp?tp=&arnumber=10663454>.

Bock, T. & Linner, T. 2015. Robot-Oriented Design: Design and Management Tools for the Deployment of Automation and Robotics in Construction. Cambridge University Press. Viitattu 24.5.2025. <http://dx.doi.org/10.1017/CBO9781139924146>.

Borkowski, A. S. & Kubrat, A. 2024. Integration of Laser Scanning, Digital Photogrammetry and BIM Technology: A Review and Case Studies. Eng, 5, 4, 2395–2409. Viitattu 24.5.2025. <https://doi.org/10.3390/eng5040125>.

Building Buildpeer: How data visualization improves decision-making in construction. 2025. Buildpeer. Viitattu 24.5.2025. <https://www.buildpeer.com/en/post/como-la-visualizacion-de-datos-mejora-la-toma-de-decisiones-en-la-construccion>.

Bürkland, T. 2022. Laserkeilauksen hyödyntäminen korjausrakentamisessa. Opinnäytetyö, AMK. Metropolia ammattikorkeakoulu, tekniikan ala, maanmittausmekaniikan tutkinto-ohjelma. Viitattu 24.5.2025. <https://urn.fi/URN:NBN:fi:amk-2022060214581>.

Calculating Costs and Benefits for the use of Building Information Modelling in Public tenders: Methodology Handbook. 2021. European Commission. Viitattu 24.5.2025. https://eubim.eu/wp-content/uploads/2021/05/Cost-Benefit-Analysis-for-the-use-of-BIM_user-handbook.pdf.

Case Study: Mobile Laser Scanning vs Terrestrial Laser Scanning. 2018. Geo-Matching. Viitattu 24.5.2025. <https://geo-matching.com/articles/mobile-laser-scanning-vs-terrestrial-laser-scanning>.

Dey, S., Sharma, A., Raj, H. & Biswas, S. 2024. Automated detection and analysis of minor deformations in flat walls due to railway vibrations using LiDAR and machine learning. Proceedings of the 15th International Conference on Computing Communication and Networking Technologies (ICCCNT). Viitattu 24.5.2025. <https://doi.org/10.1109/ICCCNT61001.2024.10725633>.

Edwards, P. 2025. Enhancing Construction Quality Control with Lidar Drones. Survey Maximus. Viitattu 24.5.2025. <https://www.surveymaximus.com/enhancing-construction-quality-control-lidar/>.

Elo, S., Kajula, O., Tohmola, A. & Kääriäinen, M. 2022. Laadullisen sisällönanalyysin vaiheet ja eteneminen. Hoitotiede 2022, 34, 4, 215-225. Viitattu 24.5.2025. <https://journal.fi/hoitotiede/article/view/128987/78028>.

Farhadi, F. 2024. Data security in construction data management: Best practices. Neuroject. Viitattu 24.5.2025. <https://neuroject.com/data-security-in-construction-data-management/>.

FINPOS-paikannuspalvelu. N.d. Maanmittauslaitos. Viitattu 24.5.2025. <https://www.maanmittauslaitos.fi/finpos>.

Genova, J., Cabrera, E. & Hoskere, V. 2024. Vision-Based Adaptive Robotics for Autonomous Surface Crack Repair. Viitattu 24.5.2025. <https://doi.org/10.48550/arXiv.2407.16874>.

Gikas, V. 2012. Three-Dimensional Laser Scanning for Geometry Documentation and Construction Management of Highway Tunnels during Excavation. Sensors, 12(8), 11249–11270. Viitattu 24.5.2025. <https://doi.org/10.3390/s120811249>.

GNSS-Finland. N.d. Maanmittauslaitos. Viitattu 24.5.2025. <https://www.maanmittauslaitos.fi/tutkimus/tutkimustoiminta/muut-tutkimusinfrastruktuurit/gnss-finland>.

Goyal, J. 2023. Laser Scanning in Construction: Everything You Need to Know. NovaTR. Viitattu 24.5.2025. <https://www.novatr.com/blog/benefits-of-3d-laser-scanning>.

Haavikko, S. & Selkälä, J. 2018. Alasca-hankkeen mittausten aineistonkäsittely ja loppuraportointi. Opinnäytetyö, AMK. Lapin ammattikorkeakoulu, tekniikan ja liikenteen ala, maanmittaustekniikan tutkinto-ohjelma. Viitattu 24.5.2025. <https://urn.fi/URN:NBN:fi:amk-201804114444>.

Hakutuloksen arviointi – Tiedonhankinnan LibGuide. 2024. Lappeenrannan–Lahden teknillinen yliopisto. Viitattu 24.5.2025. <https://libguides.lut.fi/tiedonhankinta/hakutulostenarviointi>.

Heikkilä, R., Vermeer, M., Makkonen, T., Tyni, P. & Mikkonen, M. 2016. Accuracy assessment for 5 commercial RTK-GNSS systems using a new road laying automation test center calibration track. Proceedings of the 33rd ISARC, Auburn, USA. Viitattu 24.5.2025. <https://doi.org/10.22260/ISARC2016/0098>.

Himeur, Y., Elnour, M., Fadli, F., Meskin, N., Petri, I., Rezgui, Y., Bensaali, F. & Amira, A. 2023. AI-big data analytics for building automation and management systems: a survey, actual challenges and future perspectives. Artificial Intelligence Review 2023, 56, 6, 4929–5021. Viitattu 24.5.2025. <https://doi.org/10.1007/s10462-022-10286-2>.

Hirsjärvi, S., Remes, P. & Sajavaara, P. 2009. Tutki ja kirjoita. 15. painos. Helsinki: Tammi.

How GNSS Enhances Precision in Construction Site Surveys. 2024. Canal Geomatics. Viitattu 24.5.2025. <https://canalgeomatics.com/how-gnss-enhances-precision-in-construction-site-surveys>.

How Real-Time Data Improves Decision-Making in Construction Projects. 2025. Wunderbuild. Viitattu 24.5.2025. <https://www.wunderbuild.com/blog/how-real-time-data-improves-decision-making-in-construction-projects>.

Hyvä tieteellinen käytäntö ja sen loukkausepäilyjen käsitteleminen Suomessa. 2023. Suomen tutkimuseettinen neuvottelukunta (TENK). 1. painos. Helsinki: Suomen Akatemia. Viitattu 24.5.2025. https://tenk.fi/sites/default/files/2023-03/HTK-ohje_2023.pdf.

Johansson, K., Axelin, A., Stolt, M., Ääri, R.-L., Leino-Kilpi, H., Tähtinen, H., Pudas-Tähkä, S.-M., Routasalo, P., Virtanen, H., Salanterä, S., Flinkman, M. & Kontio, E. 2007. Systemaattinen kirjallisuuskatsaus ja sen tekeminen. Turun yliopisto.

Koeleman, J., Ribeirinho, M., Rockhill, D., Sjödin, E. & Strube, G. 2019. Decoding digital transformation in construction. McKinsey & Company. Viitattu 24.5.2025. <https://www.mckinsey.com/capabilities/operations/our-insights/decoding-digital-transformation-in-construction>.

Kouba, J., Lahaye, F. & Tétreault, P. 2017. Precise Point Positioning. Teoksessa Teunissen, P. & Montenbruck, O. (toim.) Springer Handbook of Global Navigation Satellite Systems, 723-747. Viitattu 24.5.2025. http://dx.doi.org/10.1007/978-3-319-42928-1_25.

Krämer, M. 2020. GeoRocket: A scalable and cloud-based data store for big geospatial files. SoftwareX 2020, 11, 100409. Viitattu 24.5.2025. <https://doi.org/10.1016/j.softx.2020.100409>.

- Kuitunen, J. 2022. Laserkeilauksen ja pistepilvidatan hyödyntäminen voimalaitoksen toimitusprojektissa. Diplomityö. Lappeenrannan-Lahden teknillinen yliopisto LUT, energiatekniikan koulutusohjelma. Viitattu 24.5.2025. <https://urn.fi/URN:NBN:fi-fe2022062047990>.
- Kyngäs, H. 1998. Sisällönanalyysi. Teoksessa Eskola, A. & Suoranta, J. (toim.) Johdatus laadulliseen tutkimukseen, 197-214. 5. uudistettu painos. Viitattu 24.5.2025. <https://janet.finna.fi>, Ellibslibrary.
- Lappalainen, E., Uusitalo, P., Seppänen, O., Peltokorpi, A., Reinbold, A., Ainamo, A., Görsch, C. & Nyqvist, R. 2024. Situational Management and Digital Situational Awareness Systems in Infrastructure Construction: Managerial Perspectives on Relevance, Challenges, and Adoption. *Buildings*, 14, 7, 2035. <https://doi.org/10.3390/buildings14072035>.
- LeCun, Y., Bengio, Y. & Hinton, G. 2015. Deep learning. *Nature*, 521, 436–444. Viitattu 24.5.2025. <https://doi.org/10.1038/nature14539>.
- Liu, Z., Liu, Z. & Sun, Z. 2024. Massive Point Cloud Processing for Efficient Construction Quality Inspection and Control. *Sensors*, 24, 21, 6806. Viitattu 24.5.2025. <https://doi.org/10.3390/s24216806>.
- Longley, P. 2015. *Geographic Information Systems and Science*. 4. edition. John Wiley & Sons. Viitattu 24.5.2025. <https://janet.finna.fi>, Knovel General Engineering & Project Administration Academic.
- Lopes, J. M., & Trabanco, J. A. (2022). Automated control systems for civil construction machinery using RTK-GNSS: an implementation review. *Engenharia Civil UM*, 50, 101402. Viitattu 24.5.2025. <http://dx.doi.org/10.21814/ecum.4194>.
- Mirzaei, K., Arashpour, M., Asadi, E., Masoumi, H., Bai, Y. & Behnood, A. 2022. 3D point cloud data processing with machine learning for construction and infrastructure applications: A comprehensive review. *Advanced Engineering Informatics* 2022, 51, 101501. <https://doi.org/10.1016/j.aei.2021.101501>.
- Mitchell, T. M. 1997. *Machine Learning*. McGraw-Hill. Viitattu 24.5.2025. Saatavilla: <https://www.cs.cmu.edu/~tom/files/MachineLearningTomMitchell.pdf>.
- Mitlas Oy. 2025. Kallionpinnan mittausaineisto, GNSS-/pistepilviaineisto. Ei julkaistu aiemmin.
- Olatunde, N. A., Gento, A. M., Okorie, V. N., Oyewo O. W., Mewomo, M.C. & Awodele I. A. 2022. Construction 4.0 technologies in a developing economy: Awareness, adoption readiness and challenges. *Frontiers in Engineering and Built Environment*, 3, 1, 1–15. <https://doi.org/10.1108/FEBE-08-2022-0037>.
- Ollander, S., Bode, F.-W. & Baum, M. 2020. Simulation-based Analysis of Multipath Delay Distributions in Urban Canyons. *European Navigation Conference ENC 2020*, November 22–25, 2020, Dresden, Germany. Viitattu 24.5.2025. <https://doi.org/10.48550/arXiv.2006.14873>.

Omrany, H., Al-Obaidi, K. M., Husain, A. & Ghaffarianhoseini, A. 2023. Digital Twins in the Construction Industry: A Comprehensive Review of Current Implementations, Enabling Technologies, and Future Directions. *Sustainability*, 15, 14, 10908. <https://doi.org/10.3390/su151410908>.

Pekkala, J. 2015. 3D-laserkeilausaineiston hyödyntäminen inframallintamisen yhteydessä ja sen lopputuotteen laadun varmentaminen. Diplomityö. Tampereen teknillinen yliopisto, talouden ja rakentamisen tiedekunta, liikenne- ja kuljetusjärjestelmät. Viitattu 24.5.2025. <https://urn.fi/URN:NBN:fi:tty-201509241607>.

Pouryaghoubi, P. & Mohammadi, A. 2023. Examining the position of building information modeling (BIM) technology in different dimensions of building smartness. Viitattu 24.5.2025. <http://dx.doi.org/10.48550/arXiv.2309.03015>.

Ribeirinho, J., Mischke, J., Strube, G., Sjödin, E., Blanco, J. L., Palter, R., Björck, J., Rockhill, D. & Andersson, T. 2020. The next normal in construction: How disruption is reshaping the world's largest ecosystem. McKinsey & Company. Viitattu 24.5.2025. <https://www.mckinsey.com/industries/capital-projects-and-infrastructure/our-insights/the-next-normal-in-construction-how-disruption-is-reshaping-the-worlds-largest-ecosystem>.

Russell, S. & Norvig, P. 2016. Artificial Intelligence: A Modern Approach. Kolmas painos. Pearson Education. Saatavilla: <https://people.engr.tamu.edu/guni/csce625/slides/AI.pdf>.

Sacks, R., Brilakis, I., Pikas, E., Xie, H. & Girolami, M. 2020. Construction with Digital Twin Information Systems. *Data-Centric Engineering*, 1, e14. <https://doi.org/10.1017/dce.2020.16>.

Sankhla, S. 2024. The new AI stack: Integrating and scaling AI solutions with modular architecture. *ITPro Today*. Viitattu 24.5.2025. <https://www.itprotoday.com/ai-machine-learning/the-new-ai-stack-integrating-and-scaling-ai-solutions-with-modular-architecture>.

Sapkota, A. 2024. Laser scanning survey in construction and surveying. *CivInnovate*. Viitattu 24.5.2025. <https://civinnovate.com/2024/11/12/laser-scanning-survey-in-construction-and-surveying/>.

Satelliittinavigointijärjestelmät. N.d. SpaceFinland. Viitattu 24.5.2025. <https://spacefinland.fi/satelliittinavigointijarjestelmat>.

Satelliittipaikannuksen nykytila ja kehitysnäkymät. 2020. Traficom. Viitattu 24.5.2025. <https://www.traficom.fi/fi/satelliittipaikannuksen-nykytila-ja-kehitysnakymat>.

Satelliittipaikannus. N.d. Maanmittauslaitos. Viitattu 24.5.2025. <https://www.maanmittauslaitos.fi/tutkimus/teematietoa/satelliittipaikannus>.

Sirviö, V. 2025. GNSS-paikannuksen tarkkuusseuranta infratyömaalla. Opinnäytetyö, AMK. Savonia-ammattikorkeakoulu, tekniikan ja liikenteen ala, rakennustekniikan tutkinto-ohjelma. Viitattu 24.5.2025. <https://urn.fi/URN:NBN:fi:amk-202501312171>.

Tan, Y., Li, S. & Wang, Q. 2020. Automated Geometric Quality Inspection of Prefabricated Housing Units Using BIM and LiDAR. *Remote Sensing*, 12, 15, 2492. Viitattu 24.5.2025. <https://doi.org/10.3390/rs12152492>.

Tang, J., Sun, X., Lu, X., Jia, J. & Tang, S. 2024. Design and development of an automatic layout algorithm combining GNSS RTK and terrestrial laser scanning for infrastructure projects. *Sensors*, 24, 3, 1050. Viitattu 24.5.2025. <https://doi.org/10.3390/s24175857>.

The benefits of real-time data for construction projects. 2024. Rhumbix. Viitattu 24.5.2025. <https://www.rhumbix.com/blog/the-benefits-of-real-time-data-for-construction-projects>.

The economic impact of 3D laser scanning on construction projects. 2024. iScano. Viitattu 24.5.2025. <https://iscano.com/laser-scanning-lidar-future-trends/economic-impact-3d-laser-scanning-construction/>.

Tuomi, J. & Sarajärvi, A. 2018. Laadullinen tutkimus ja sisällönanalyysi. 4. painos. Helsinki: Tammi.

Vanhala, L. 2024. Pistepilvipohjainen mallinnus- automaatio ja määrälaskenta. Opinnäytetyö, ylempi AMK. Tampereen ammattikorkeakoulu, rakentamisen ylempi AMK tutkinto-ohjelma. Viitattu 24.5.2025. <https://urn.fi/URN:NBN:fi:amk-2024102526791>.

Varbla, S., Puust, R. & Ellmann, A. 2020. Accuracy assessment of RTK-GNSS equipped UAV conducted as-built surveys for construction site modelling. *Survey Review*, 53, 381, 477–492. Viitattu 24.5.2025. <https://doi.org/10.1080/00396265.2020.1830544>.

Vassena, G.P.M., Perfetti, L., Comai, S., Mastrolemba Ventura, S. & Ciribini, A.L.C. 2023. Construction Progress Monitoring through the Integration of 4D BIM and SLAM-Based Mapping Devices. *Buildings* 2023, 13(10), 2488. Viitattu 24.5.2025. <https://doi.org/10.3390/buildings13102488>.

Vindana, C. 2024. Cost-Benefit Analysis in Construction: Making Informed Decisions. LinkedIn. <https://www.linkedin.com/pulse/cost-benefit-analysis-construction-making-informed-chathurka-vindana-rivrc>.

Vosselman, G., & Maas, H.-G. 2010. Airborne and Terrestrial Laser Scanning. Whittles Publishing. Viitattu 24.5.2025. <https://janet.finna.fi>, ProQuest Ebook Central.

Vu, N. Q., Nguyen, V. H., Ta, L. B. & Van, H. T. 2023. A Comparative Study of UAV Lidar, UAV, and GNSS RTK on Infrastructure Survey. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 1289, 1, 012098. Viitattu 24.5.2025. <https://doi.org/10.1088/1757-899X/1289/1/012098>.

Vuori, J. N.d. Laadullinen sisällönanalyysi. Tietoarkisto. Viitattu 24.5.2025. <https://www.fsd.tuni.fi/fi/palvelut/menetelmaopetus/kvali/analyysitavan-valinta-ja-yleiset-analyysitavat/laadullinen-sisallonanalyysi/>.

Waqar, A., Chen, X., Li, Y. & Zhang, M. 2025. Functional analysis of LIDAR technology in optimizing efficiency and sustainability in construction sector. *Ain Shams Engineering Journal* 2025, 16, 2, 103258. Viitattu 24.5.2025. <https://doi.org/10.1016/j.asej.2024.103258>.

Yang, J., Wilde, A., Menzel, K., Sheikh, M. Z. & Kuznetsov, B. 2023. Computer Vision for Construction Progress Monitoring: A Real-Time Object Detection Approach. Viitattu 24.5.2025. <https://doi.org/10.48550/arXiv.2305.15097>.

Yen, K. S., Lasky, T. A. & Ravani, B. 2014. Cost-Benefit Analysis of Mobile Terrestrial Laser Scanning Applications for Highway Infrastructure. *Journal of Infrastructure Systems*, 20, 4, 04014022. [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)IS.1943-555X.0000192](https://doi.org/10.1061/(ASCE)IS.1943-555X.0000192).

Zhang, Q. & Liu, C. 2023. Holistic analysis of the influencing factors of Construction 4.0 technology implementation in the construction industry: A twin sustainable and digital transition perspective. *Proceedings of the 27th International Symposium on Advancement of Construction Management and Real Estate*, 291–299. Springer. Viitattu 24.5.2025. http://dx.doi.org/10.1007/978-981-99-3626-7_23.

Zhang, Z., Wang, L. & Li, X. 2025. Characterization and modeling of GNSS site-specific unmodeled errors under reflection and diffraction using a data-driven approach. *Satellite Navigation* 2025, 6, 1, 1–24. Viitattu 24.5.2025. <https://doi.org/10.1186/s43020-025-00161-0>.

Liitteet

Liite 1. Tiedonhaun dokumentointi

1. Hakustrategian kuvaus

| Osa-alue | Kuvaus |
|------------------------|--|
| Tutkimusmenetelmä | Systemaattinen kirjallisuuskatsaus |
| Hakujärjestelmät | JAMK Finna, Theseus, Google Scholar, ScienceDirect, Scopus, ResearchGate |
| Hakukielet | Englanti, suomi |
| Julkaisuvuosien rajaus | 2010-2025 |
| Julkaisutyyppi | Tieteelliset artikkelit, raportit, väitöskirjat, opinnäytetyöt |
| Rajaukset | Saatavilla olevat kokotekstit, teknologiapainotteiset julkaisut |
| Ajankohta | Tiedonhaku on tehty 03-05/2025 |

2. Käytetyt hakutermiesimerkit

| Hakusana/yhdistelmä | Hakukieli |
|---|-----------|
| "Real-time construction reporting" AND "GNSS" | englanti |
| "Laser scanning" AND "infrastructure site monitoring" | englanti |
| "Tekoäly" AND "rakennustyömaa" | suomi |
| "Automated quality control" AND "construction site" | englanti |
| "BIM" AND "progress monitoring" AND "cost-benefit analysis" | englanti |

Hakuja tehtiin sekä yksittäisillä hakusanoilla että sanoja yhdisteltiin Boolean operaattoreilla (AND, OR, NOT) ja rajaamalla aikaväliä (esim. 2010–2024) sekä aihealueita (esim. engineering, construction management).

3. Hakutulokset ja seulonta

| Vaihe | Englanninkieliset | Suomenkieliset | Yhteensä |
|-----------------------------|-------------------|----------------|----------|
| Hakutuloksia yhteensä | 1130 | 94 | 1224 |
| Poistettu kaksoiskappaleina | 184 | 12 | 196 |

| | | | |
|--|-----|----|------|
| Arvioitu otsikon ja tiivistelmän perusteella | 946 | 82 | 1028 |
| Poissuljettu sisällön epärelevanssin vuoksi | 806 | 58 | 864 |
| Luettu kokotekstinä | 140 | 24 | 164 |
| Mukaan analyysiin hyväksytty | 41 | 7 | 48 |

4. PRISMA-menetelmä

Kirjallisuuskatsauksessa noudatetaan PRISMA-ohjeistusta (Preferred Reporting Items for Systematic Reviews and Meta-Analyses), joka tukee tiedonhaun läpinäkyvyyttä, toistettavuutta ja luotettavuutta.

PRISMA-menetelmän mukaisesti hakutuloksia saatiin yhteensä 1224 kappaletta, joista 196 poistettiin kaksoiskappaleina. Seulontavaiheessa 1028 lähdettä arvioitiin otsikon ja tiivistelmän perusteella, minkä jälkeen 864 karsittiin pois aiheen epärelevanssin vuoksi. Kokotekstinä luettiin 164 lähdettä, joista 48 täytti sisällölliset ja laadulliset valintakriteerit ja sisällytettiin analyysiin.

5. Perusteet valinnoille ja karsinnoille

Sisällyttämiskriteerit:

- Käsittelee teknologioiden käyttöä infrarakentamisessa
- Tarjoaa tutkimukseen sovellettavia tietoja (esim. GNSS, laserkeilaus, tekoäly, etenemäraportointi)
- Julkaistu vertaisarvioidussa lähteessä tai virallisessa raporttisarjassa

Poissulkukriteerit:

- Vanhentuneet teknologiat ilman nykyrelevanssia
- Ei tarkastellut työmaiden raportointia tai laadunvalvontaa
- Yleistekstit ilman tutkimusperustaa tai liian yleinen lähestymistapa

6. Hakukielivalinnat

Hakukielet valittiin tutkimusalueen kansainvälisyyden ja saatavilla olevan kirjallisuuden perusteella:

- **Englanti:** Valtaosa aiheeseen liittyvästä tieteellisestä kirjallisuudesta julkaistaan englanniksi. Englanninkielinen haku mahdollisti pääsyn kansainvälisiin tutkimusartikkeleihin ja standardeihin, joita tarvittiin teknologiakeskeisessä tutkimuksessa.
- **Suomi:** Suomenkielisiä lähteitä haettiin tukemaan kansallista näkökulmaa, erityisesti rakentamisen toimintaympäristöä, eettisyyttä ja korkeakoulujen käytäntöjä käsittelevissä kohdissa. Näitä käytettiin täydentämään tutkimuksen sovellettavuutta suomalaisessa kontekstissa.

7. Tietokantojen ulkopuoliset lähteet

Tietokantahakujen lisäksi hyödynnettiin:

- Virallisia ohjeita ja suosituksia
- Avoimesti julkaistuja raportteja
- Tieteellisiä esijulkaisuja ja avoimen saatavuuden artikkeleita
- Alan asiantuntijaorganisaatioiden julkaisemia tutkimuksia

Nämä lähteet valittiin huolellisesti ja arvioitiin samoin laadullisin kriteerein kuin tietokantojen sisältämät julkaisut.