



Eemeli Uotila

Rakennustyömaan paikkatietojärjestelmän jatkokehitys

Metropolia Ammattikorkeakoulu

Insinööri (AMK)

Sähkö- ja automaatiotekniikka

Opinnäytetyö

9.5.2022

Tiivistelmä

Tekijä(t):	Eemeli Uotila
Otsikko:	Rakennustyömaan paikkatietojärjestelmän jatkokehitys
Sivumäärä:	33 sivua + 3 liitettä
Aika:	9.5.2022
Tutkinto:	Insinööri (AMK)
Tutkinto-ohjelma:	Sähkö- ja automaatiotekniikka
Suuntautumisvaihtoehto:	Automaatiotekniikka
Ohjaaja(t):	Tuotepäällikkö Siyan Zhuang, Yliopettaja Erkki Räsänen

Insinööriyön tarkoituksena oli jatkaa Aiforsite Oy:n jo aloittamaa rakennustyömaan paikkatietojärjestelmän kehitystä. Tavoitteena oli löytää rakennustyömaan paikkatietojärjestelmän tarkoitukseen sopivia Bluetooth-majakointa sekä testata niiden toimivuutta rakennustyömaalla. Aiforsite Oy toimii insinööriyön tilaajana.

Projekti koetaan tarpeelliseksi, sillä rakennustyömaan paikkatietojärjestelmän jatkokehityksen myötä paikkatietojärjestelmän toimintavarmuutta sekä luotettavuutta pystytään kasvattamaan.

Työn tuloksena saatiin hyvä yleiskuva uusien Bluetooth majakoiden toiminnasta sekä kyvystä suoriutua paikkatietojärjestelmissä, jotka sijaitsevat haastavissa olosuhteissa.

Avainsanat: Paikkatietojärjestelmä, IoT, bluetooth

Abstract

Author(s): Eemeli Uotila
Title: Development of the Construction Site's Geographical Information System
Number of Pages: 33 pages + 3 appendices
Date: 9 May 2022

Degree: Bachelor of Engineering
Degree Programme: Electrical and automation engineering
Specialisation option: Automation technology
Instructor(s): Siyan Zhuang, Product Manager
Erkki Räsänen, Principal Lecturer

The purpose of the engineering work was to continue the development of the construction site's geographical information system already started by Aiforsite Oy. The goal was to find Bluetooth-beacons suitable for the purpose of the functionality on the site. Aiforsite Oy acted as the client and commissioner of the engineering work.

The project was considered necessary because through further development of the construction site's geographical information system the operational reliability and trustworthiness of the system can be increased.

As a result of the work, a good overview of the new Bluetooth-beacon's function, as well as information on the system's ability to perform in geographical information systems situated in challenging circumstances, were gained.

Keywords: Geographical information system, IoT, Bluetooth

Sisällys

Lyhenteet

1	Johdanto	1
2	Bluetooth-majakat	2
2.1	Mitä Bluetooth low energy -majakat ovat?	2
2.2	Käyttötarkoitukset	2
2.3	iBeacon	2
2.4	Eddystone	3
2.4.1	Eddystone-URL	3
2.4.2	Eddystone-UID	4
2.4.3	Eddystone-TML	4
2.4.4	Eddystone-EID	4
2.5	Eddystone vs. iBeacon	4
3	Wizzilab	5
4	Paikkatieto ja signaalin mittaus	5
4.1	Paikkatietojärjestelmä	5
4.2	Paikkatietoaineisto	6
4.2.1	Laitteisto	6
4.2.2	Ohjelmisto	6
4.2.3	Käyttäjät	7
4.2.4	Datan analysointi	7
4.3	Käyttökohteet	8
4.4	Aiforsiten paikkatietojärjestelmä	8
4.5	Signaalin mittaus	10
4.6	Häiriöt mittauksessa ja häiriöanalyysi	10
5	Tuotteiden hankintaan liittyvät riskit	11
5.1	Logistiset riskit	11
5.2	Ennakoimattomat riskit	11
5.3	Valmistajiin liittyvät riskit	12
5.4	Turvallisuusriskit	12
5.5	Laitteistoon liittyvät riskit	12

6	Testattavat laitteet	14
6.1	Kriteerit ja vaatimukset	14
6.2	Lisäominaisuudet	15
6.3	Testattavat laitteet	16
6.4	Testattavien laitteiden vertailu	18
7	Testaus ja pohdinta	19
7.1	Testausympäristö	19
7.2	Toimistotestauksen suunnittelu	20
7.3	Työmaatestauksen suunnittelu	21
7.4	Testausraportti	23
7.4.1	Toimistotestaus	23
7.4.2	Ongelmat toimistotestauksessa	24
7.4.3	Työmaatestaus	25
7.5	Tulokset	30
7.6	Pohdinta	32

Lähteet

Lyhenteet

BLE	Bluetooth low energy eli lyhyen matkan langaton likiverkkotekniikka, jota nykyaikaiset langattomat laitteet käyttävät.
IoT	Internet of Things eli laitteiden järjestelmä, joka perustuu automaattiseen seurantaan sekä tiedonsiirtämiseen internetin välityksellä.
AIC	Artificial Intelligence for construction eli rakennustyömaille suunniteltu tekoäly.
GSI	Geographical Information system on englanninkielinen nimitys paikatietojärjestelmälle.
PBS	Proximity based service on englanninkielinen nimitys etäisyyttä hyväksikäyttävälle palvelulle.
LBS	Location based service on englanninkielinen nimitys sijaintia hyväksikäyttävälle palvelulle.
RSSI	Received signal strength indicators englanninkielinen nimitys kuvaajalle, joka kuvaa signaalin kuuluvuutta tukiasemasta tai reitittimestä.
IP-luokka	International Protection Code eli kansainvälinen suojausluokka. 1. numero 0=ei suojausta, 6=täydellinen suojaus. 2. numero 0=ei suojausta vedeltä, 8=kestää jatkuvan upotuksen veteen.
UBW	Ultra wideband on radioteknologia, jossa signaali lähetetään lyhyinä, pienitehoisina pulsseina.
AES	Advanced Encryption Standard on yhdysvaltojen liittovaltion tietojenkäsittelystandardin hyväksymä salausalgoritmi, jota voidaan käyttää sähköisten tietojen salaamiseen.
Gateway	Gatewaylla tarkoitetaan laitetta, jonka avulla pystytään yhdistämään kaksi samalla tai eri protokollalla toimivaa verkkoa.
dB	Desibeli on logaritminen yksikkö, joka vertailee tehon suureita logaritmisella asteikolla. Käytetään esimerkiksi kahden signaalin välisen tehosuhteen ilmaisuun.

1 Johdanto

Teknologian kehitys ja sen hyödyntäminen näkyvät ihmisten arjessa sekä työelämässä entistä enemmän. (1.) Rakennustyömaaympäristöön suunnitellun paikkatietojärjestelmän avulla pystytään kehittämään työn tehokkuutta sekä turvallisuutta rakennustyömailla. Tämän opinnäytetyön toimeksiantajalla Aiforsite Oy:llä on kehitysvaiheessa oleva rakennustyömaille suunniteltu paikkatietojärjestelmä, jonka avulla pystytään seuraamaan ihmisten liikkumista rakennustyömailla. Tässä opinnäytetyössä keskitytään Bluetooth low energy -teknologiaan ja sen hyödyntämiseen rakennustyömaan paikkatietojärjestelmässä. Tässä opinnäytetyössä esitellään Bluetooth low energy -teknologia sekä sen toimintaa. Lisäksi opinnäytetyössä kuvaillaan laitteiden kartoitusta, niiden testausta sekä testaustulosten analysointia.

Rakennustyömaan paikkatietojärjestelmän jatkokehitys kehitys alkoi vuonna 2021 Wizzilab-nimisen ohjelmistoyrityksen kanssa osana Metropolia Ammattikorkeakoulun innovaatioprojektia. Wizzilab-paikkatietojärjestelmää kehitetään nykyisen paikkatietojärjestelmän rinnalle, sillä aikaisemman paikkatietojärjestelmän toiminta ei ollut tarpeeksi varmaa.

Aiforsite Oy:llä oli tarve saada kartoitus markkinoilla olevista BLE-majakoista ja niiden mahdollisuuksista toimia osana rakennustyömaan paikkatietojärjestelmää. Opinnäytetyön tavoitteena on selvittää markkinoilla olevien BLE-majakoiden tarjontaa sekä niiden ominaisuuksia, soveltuvuutta rakennustyömaan paikkatietojärjestelmään sekä majakoiden kykyä toimia osana Wizzilab -pohjaista paikkatietojärjestelmää. Tavoitteena on myös perehdyttää lukija paikkatietojärjestelmän toimintaan sekä testata markkinoilta valitut BLE-majakat Aiforsiten paikkatietojärjestelmässä.

Kaikki testaukseen valitut tuotteet täyttivät Aiforsiten ennalta määritetyt kriteerit ja osalla testattavista BLE-majakoista on lisäominaisuuksia, jotka koettiin hyödyllisiksi testata.

2 Bluetooth-majakat

2.1 Mitä Bluetooth low energy -majakat ovat?

Bluetooth low energy -majakat ovat pieniä, langattomia, Bluetooth signaalia lähettäviä laitteita. Bluetooth-majakka toimii nimensä mukaisesti majakkana ja se lähettää toistuvasti signaalia, jonka toinen Bluetooth-yhteydellä varustettu laite pystyy vastaanottamaan. Majakan pienen koon ansiosta ne soveltuvat hyvin esimerkiksi seurantalaitteeksi tuotekehityksen, turvallisuuden, laadun varmistamisen tai navigoimisen avuksi. (2.)

2.2 Käyttötarkoitukset

Bluetooth-majakoiden sovellukset ovat yleistymässä kovaa vauhtia. Bluetooth-majakoita käytetään jo esimerkiksi kulttuurin, matkailun sekä markkinoinnin aloilla. Majakoilla pystytään kehittämään esimerkiksi laadunvalvontaa sekä palveluiden tarjontaa. Majakoiden käyttö perustuu siihen, että tuotteiden tai palveluiden kuluttaja omistaa kannettavan älylaitteen, jossa on Bluetooth-yhteys. (3.) Majakat käyttävät pääasiassa kahta eri protokollaa, joita ovat Applen kehittämä iBeacon sekä Googlen kehittämä Eddystone. Eddystone- ja iBeacon -protokollan lisäksi on olemassa myös muita protokollia kuten esimerkiksi Altbeacon ja Geobeacon. (4.)

2.3 iBeacon

iBeacon on Applen teknologiastandardi, joka käyttää hyväksi avointa BLE-viestintäprotokollaa. Protokollan avulla iOS- ja Android-käyttöjärjestelmän laitteet voivat vastaanottaa signaaleita ympäristössä sijaitsevista majakoista. Apple on luonut iBeaconille oman ilmoitusmuodon, joka koostuu neljästä päätiedosta, joita on kuvattu alla olevassa taulukossa 1.

Taulukko 1. Bluetooth-majakan tunnistamiseen liittyviä tietoja

Tiedon muoto	Koko	Kuvaus
UUID	16-bittiä	UUID:n avulla pystytään tunnistamaan bluetooth majakat toisistaan. Yrityksen kaikilla majakoilla on sama UUID, jonka avulla yrityksen oma applikaatio pystyy tunnistamaan yrityksen omat majakat.
Laaja tieto (Major)	2-bittiä	Kahden tavun merkkijono, jolla pyritään tunnistamaan samalla alueella sijaitsevat majakat, esimerkiksi sama rakennustyömaalla.
Yksilöity tieto (Minor)	2-bittiä	Kahden tavun jono, jolla pyritään tunnistamaan yksittäinen majakka. Tämän avulla pystytään tunnistamaan esimerkiksi henkilö paikatietojärjestelmässä.
Signaalin voimakkuus (Tx power)		Tämä määrittää, kuinka lähellä majakka on ankkuria. Signaalin lähetys teho täytyy määrittellä majakkaan etukäteen esimerkiksi yhden metrin tarkkuudella. Tämä kertoo, kuinka lähellä majakka on ankkuria.

2.4 Eddystone

Eddystone on Googlen vuonna 2015 luoma avoin protokolla, ja se toimii iOS- ja Android-käyttöjärjestelmien kanssa. Eddystone -protokollan tietopaketti koostuu samoista päätiedoista kuin Applen iBeacon, mutta se tukee neljää eri alustaa, jonka avulla sitä voidaan käyttää hyväksi sovellusten lisäksi myös verkkoselaimissa. (4.) Seuraavissa alaluvuissa käsitellään tarkemmin Eddystone -protokollan osia ja niiden käyttömahdollisuuksia eri sovelluksissa.

2.4.1 Eddystone-URL

Eddystone-URL -alustan päätarkoitus on tarjota majakalle kyky lähettää URL-osoite Bluetooth-signaalia havaitsevaan laitteeseen. Tämän avulla esimerkiksi älypuhelimet voivat automaattisesti avata käyttäjälleen verkkosivun heti, kun he ovat majakan signaalin etäisyydellä. URL-osoitteiden on oltava todella lyhyitä,

jos niitä halutaan lähettää eteenpäin Bluetoothin välityksellä tiedonsiirron rajallisen tilan takia. (4.)

2.4.2 Eddystone-UID

Eddystone-UID on Eddystone-protokollan pääasiallinen toiminta-alusta ja se koostuu neljästä päätiedosta, jotka on kuvattu taulukossa 1. Eddystone-UID määrittää majakan ja mobiililaitteen välisen etäisyyden RSSI:n perusteella ja on iBeaconin kanssa samankaltainen. Eddystone-UID ei sisällä AES-suojauksia eikä tämän takia ole yhtä tietoturvallinen kuin Eddystone-EID. (4.)

2.4.3 Eddystone-TML

Tämän alustan tarkoituksena on täydentää URI- sekä UID-alustojen tietoja. Eddystone-TML -alustan tärkeimmät ominaisuudet on antaa tietoa majakan käytön ja kunnan tilasta. TML-alustan avulla voidaan kertoa majakan akun varaus, majakan lämpötila, kauanko majakka on ollut päällä ja kuinka paljon se on toimittanut tietoa päällä ollessaan. (4.)

2.4.4 Eddystone-EID

EID-alusta vastaa sille määritetyn laitteen turvallisuudesta. EID eroaa UID:stä siten, että se sisältää kahdeksantavuisen AES-tunnisteen. (4.) AES-suojauksen avulla pystytään ehkäisemään majakoiden lähettämän datan väärinkäyttöä. (5.) Jotta majakka pystyy lähettämään EID tunnusta, täytyy olla rekisteröitynyt Googlen omaan pilvipalveluun nimeltä Proximity Beacon API. (4.)

2.5 Eddystone vs. iBeacon

Eddystonen sekä iBeaconin protokollat toimivat molemmat iOS- sekä Android-käyttöjärjestelmiin pohjautuvien mobiilisovellusten kanssa. Eddystonen sekä iBeaconin suurin ero on siinä, että Eddystonen protokolla toimii sovellusten

sekä verkkoselaimen kanssa, mikä tarjoaa enemmän mahdollisuuksia kuin iBeacon. Tästä huolimatta osa kuluttajista valitsee iBeaconin, sillä sen avulla sovellusten toteuttaminen saattaa olla helpompaa.

Eddystone pystyy toimimaan verkkoselaimen sekä sovellusten välillä, sillä se koostuu neljästä eri alustasta. Eddystone URL pystyy kommunikoimaan verkkoselaimen kanssa, Eddystone UID ja EID sovellusten kanssa. Eddystone TML antaa tietoa majakan tilasta. (4.)

3 Wizzilab

Wizzilab on ranskalainen langattomien viestintälaitteiden kehitykseen erikoistunut yritys. Wizzilabin päätuotteita ovat heidän kehittämänsä paikkatietojärjestelmä, kosteuden mittaussensori sekä parkkipaikalla parkkeeratun auton tunnistin. Wizzilabin tuotteet perustuvat kaksisuuntaisen tietoliikenneviestinnän DASH7 avoimeen standardiin sekä LoRa-verkkoprotokollaan. (6.)

Aiforsiten käyttämän paikkatietojärjestelmän ohjelmisto sekä ankkurit ovat Wizzilabin kehittämiä, ja niitä voidaan soveltaa yrityksen tarpeiden mukaan. Tässä tapauksessa niitä on sovellettu rakennustyömaan työntekijöiden sekä logistiikan liikkumisen seurantaan. Wizzilabin paikkatietojärjestelmä toimii DASH7- sekä LoRa-radiosignaalien avulla, jonka ansiosta ankkurit pystyvät kommunikoimaan tukiaseman kanssa myös laajalla alueella. (6.)

4 Paikkatieto ja signaalin mittaus

4.1 Paikkatietojärjestelmä

Paikkatietojärjestelmä eli GIS on järjestelmä, joka analysoi sekä näyttää sijaintiin perustuvaa tietoa. (7.) Paikkatietojärjestelmä tarvitsee paikkatietoaineistoja, jotka koostuvat laitteistoista, ohjelmistoista, datasta sekä käyttäjistä. Paikkatie-

tojärjestelmät perustuvat paikannettavaan laitteeseen, esimerkiksi älypuheliimeen sekä paikkatietoaineistoon, jonne on tallennettu eri palveluiden sijainnit tietyn etäisyyden sisällä. (8.)

4.2 Paikkatietoaineisto

Paikkatietojärjestelmään koottu paikkatietoaineisto määrittää sen, mihin paikkatietojärjestelmää voi käyttää. Paikkatietoaineisto koostuu sijaintitiedosta sekä ominaisuustiedosta eli attribuuttitiedosta. Yleisesti paikkatietojärjestelmässä sijaintitieto kertoo, missä esimerkiksi henkilö on, kun taas ominaisuustieto kertoo, kuka henkilö on.

Rakennustyömaan paikkatietojärjestelmän paikkatietoaineisto voisi koostua esimerkiksi siitä, mitkä reitit ovat työmaalla useimmiten käytössä, jotta niiden varrelle voitaisiin sijoittaa esimerkiksi ylimääräinen vaahtosammutin tai ilmoitustaulu, jotta se tavoittaisi mahdollisimman monta henkilöä. Paikkatietoa voidaan myös hyödyntää seuraamalla alueita, joissa työt edistyvät normaalia hitaammin. Lisäksi voidaan esimerkiksi katsoa, onko tila logistisesti hankala seuraamalla logistiikan liikettä alueella. (9.)

4.2.1 Laitteisto

Paikkatietojärjestelmän laitteisto koostuu kaikista laitteista, joita paikkatietojärjestelmä tarvitsee toimiakseen. Laitteisto voi yksinkertaisimmillaan olla pelkästään yksi tietokone, mutta esimerkiksi rakennustyömaan paikkatietojärjestelmän laitteisto koostuu Bluetooth-majakoista, ankkureista, verkkoasemasta, älypuhelimesta tai tabletista sekä tietokoneesta. (8.)

4.2.2 Ohjelmisto

Ohjelmistot toimivat paikkatietojärjestelmässä käyttäjän työkaluna kerätyn datan käsittelyssä. Yleisesti ohjelmistojen avulla käyttäjän on mahdollista tallentaa,

muokata sekä analysoida dataa. (8.) Rakennustyömaan paikkatietojärjestelmässä ohjelmisto on erikoistunut osoittamaan mahdollisimman tarkasti paikannettavan majakan sijainnin.

4.2.3 Käyttäjät

Käyttäjät määrittävät sen, mitä aineistoa paikkatietojärjestelmään tallennetaan ja miten tallennettua aineistoa analysoidaan sekä esitetään. Käyttäjät toimivat myös osana paikkatietojärjestelmän kehitystä, sillä käyttäjien kommenttien perusteella voidaan kehittää uusia tarpeelliseksi koettuja lisäominaisuuksia sekä saada palautetta jo valmiista ominaisuuksista. (10.)

4.2.4 Datan analysointi

Aineisto eli data on paikkatietojärjestelmän perusta ja ilman sitä paikkatietojärjestelmää on mahdotonta käyttää. Paikkatietojärjestelmän data määrittää sen, mihin tarkoitukseen paikkatietojärjestelmää voidaan tulla käyttämään. Datan keräämismenetelmän paikkatieto pohjautuu todellisiin tapahtumiin, joten sitä ei voida luoda tyhjästä. (11.)

Datan analysoinnin avulla paikkatietojärjestelmästä kerättyä aineistoa pystytään hyödyntämään suunnittelussa sekä päätöksen teossa. Esimerkiksi rakennustyömaan paikkatietojärjestelmässä oikean analysoinnin avulla pystytään kehittämään työmaan logistiikkaratkaisuja sekä työn tehostamista. Data-analyysit voivat olla joko visuaalisia tai laskennallisia analyyskejä. Datan visuaalisen esittämisen avulla aineistoista sekä tuloksista pystytään tekemään entistä selkeämpiä

ja helpommin ymmärrettäviä.



Kuva 1. Erilaisia paikkatiedon analysointi menetelmiä. (20.)

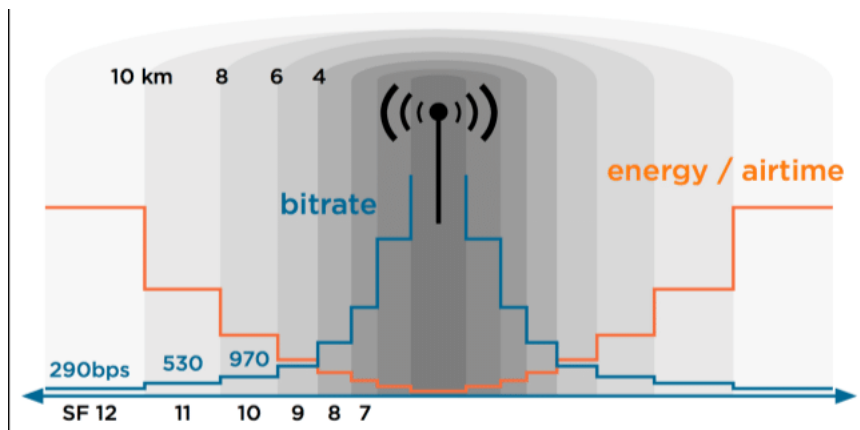
4.3 Käyttökohteet

Paikkatietojärjestelmän käyttökohteet ovat moninaisia ja paikkatietojärjestelmiä käytetään hyväksi muun muassa tutkimus-, suunnittelu-, sekä rakennustöissä. Paikkatietojärjestelmiä käytetään hyväksi esimerkiksi erilaisissa kaavoituksissa, joissa tarvitaan esimerkiksi ilmakuvia tai karttoja tieverkostoista. (12.) Tämän lisäksi paikkatietojärjestelmien positiivinen vaikutus voidaan havaita ihmisten arjessa. Teknologian kehityksen myötä ihmiset voivat nykyään saada ilmoituksen puhelimeensa lähitöillä sijaitsevista palveluista. Kuluttajat voivat saada myös kulutuskäyttäytymiseen perustuvia tarjouksia kauppakeskuksen kaupoista heidän ollessaan lähettimen signaalin kantavuusetaisyyden sisällä. (13.)

4.4 Aiforsiten paikkatietojärjestelmä

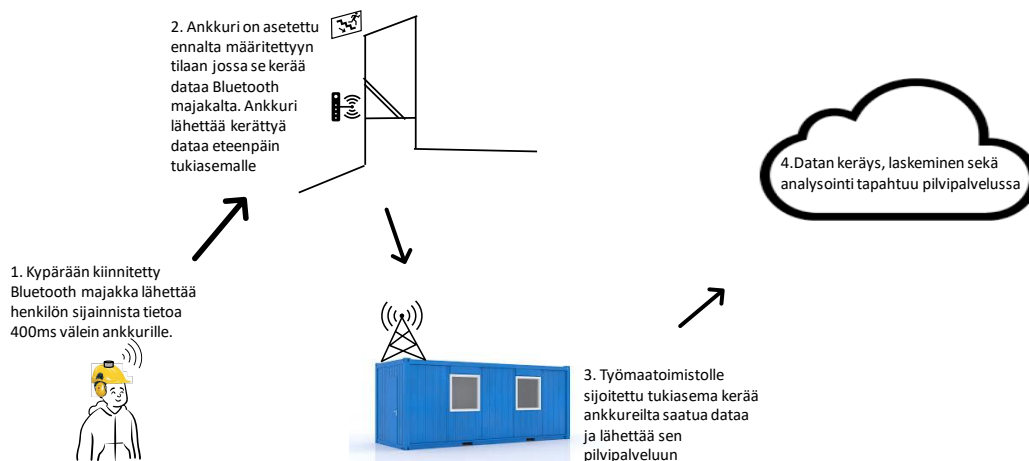
Rakennustyömaan paikkatietojärjestelmä koostuu kolmesta pääkohdasta, joita ovat datan keräys ennalta määritetyltä alueelta, datan lähettäminen tukiasemalle sekä datan käsittely pilvipalvelussa. Bluetooth-majakat toimivat paikkatie-

tojärjestelmässä datan lähettiminä. Ne toimivat yhteistyössä työmaalle sijoitettujen ankkureiden kanssa, jotka keräävät datan majakoiden toiminnasta ja lähettävät sen eteenpäin tukiasemille. Ankkurit käyttävät tiedonsiirtoon kahta eri protokollaa, joka riippuu ankkurin ja tukiaseman välimatkasta. Ankkurit käyttävät tiedonsiirtoon joko lyhyen radiosignaalin lähetykseen tarkoitettua DASH7-protokollaa tai pidemmille etäisyyksille tarkoitettua LoRa SF -protokollaa.



Kuva 2. Mitä lähempänä tukiasemaa ollaan, sitä vähemmän tiedon vastaanottaminen vaatii energiaa. Kuvassa näkyy myös Spreading Factor-vaihtelu eri etäisyyksillä tukiasemasta. Kuvan etäisyydet sekä lähetykseen vaadittu energia on kuvattu esteettömällä alueella. (21.)

Tukiasema toimii datan kerääjänä ja niitä on sijoitettu seurattavan alueen koosta riippuen yhdestä kolmeen kappaletta. Tukiasema sijoitetaan rakennustyömaan työmaatoimistolle, mutta jos tukiasemia on enemmän, niin ne pyritään sijoittamaan eri puolille työmaata. Tukiasema tarvitsee toimiakseen verkkovirran sekä nettiyhteyden. Pilvipalveluiden merkitys paikkatietojärjestelmän ylläpidossa on merkittävä, sillä ilman sen toimintaa datan kerääminen on hyödytöntä. Pilvipalvelun avulla data saadaan siirrettyä ankkureilta ihmisten analysoitavaksi. Tukiasemat ovat yhteydessä pilvipalvelun kanssa ja lähettävät sinne jatkuvasti kerättyä dataa. Data suodatetaan siten, että vaikka kaksi tukiasemaa vastaanottaa dataa samasta ankkurista, niin dataa ei duplikoida eli kopioida. (14.)



Kuva 3. Kuvassa on esitelty Rakennustyömaan paikkatietojärjestelmän toiminta lyhyesti (22.)

4.5 Signaalin mittaus

Signaalin mittaustulosten analysointia tarvitaan silloin, kun tutkitaan muutostilassa olevaa kohdetta esimerkiksi liikkuvaa Bluetooth-majakkaa. Uusi paikkatietojärjestelmä perustuu majakan sekä ankkurin välisen signaalin voimakkuuden mittaamiseen. Signaalin mittauksessa käytetään häiriöanalyysiä, jossa selvitetään mittauspisteiden välistä vuorovaikutusta ja etsitään kohtaa, jossa häiriö vaikuttaa mittaustulokseen. (15.)

4.6 Häiriöt mittauksessa ja häiriöanalyysi

Radiosignaali on pienitehoinen sähkömagneettinen signaali. Pienestä tehosta johtuen siirtotiehen vaikuttavat häiriöt aiheuttavat suuria virheitä ja pahimmillaan mittaamisen estymistä. Häiriöitä voidaan analysoida kolmen päätekijän kannalta, jotka ovat häiriön lähde, häiriön kytkeytyminen sekä häiriön alainen laite. Ongelmaa selvitetessä häiriötekijöitä kannattaa tarkastella edellä mainitussa järjestyksessä, sillä ongelman poistaminen lähellä sen syntymistä on tehokkain sekä yksinkertaisin tapa. Tavallisimpia radiotaajuuksiin vaikuttavia häiriötekijöitä

ovat radiopuhelimet sekä eri lähettimet, loisteputket, ukkonen ja induktiokuumentimet. (16.)

5 Tuotteiden hankintaan liittyvät riskit

5.1 Logistiset riskit

Rakennustyömaan paikkatietojärjestelmään kehitykseen valitut Bluetooth-majakat saapuvat Kiinasta sekä Suomesta. Rakennustyömaan paikkatietojärjestelmän kehityksessä on hyvä ottaa huomioon, minkälaisia riskejä tuotteiden tilaamisella, saatavuudella, sekä käytöllä voisi olla yrityksen brändin sekä maineen kannalta. On voitu huomata, että maailmalla tilanne voi muuttua nopeasti. Mitä pidempi välimatka myyjän ja asiakkaan välillä on, sitä enemmän muuttujia on matkassa. Rakennustyömaan paikkatietojärjestelmän jatkokehityksessä on hyvä testata eri laitteita eri valmistajilta, jotta voidaan kartoittaa mahdollisimman monta ongelmatilannetta niin tuotteiden tilaamisen, toimituksen kuin testauksenkin yhteydessä. Ongelmatilanteiden kartoituksen jälkeen pystytään mahdollisesti varautumaan esiintyviin ongelmiin tulevaisuudessa. Ongelmatilanteisiin varautumisen tarkoituksena on ehkäistä negatiivista tapahtumaketjua. Negatiivinen tapahtumaketju voi syntyä esimerkiksi, jos rahtia kuljettava risteilijä ajaa karille tai maailmassa syntyy sota, jonka takia lähetys estyy tai vaikeutuu.

5.2 Ennakoimattomat riskit

Osa tuotteista saapui Kiinasta ja osa Suomesta. Suomalainen Bluetooth-majakkoita valmistava yritys sai lähetettyä Bluetooth-majakkan näytekappaleen samana päivänä tilauksen tekemisestä, ja majakka saapui samalla viikolla. Kiinasta tilattujen tuotteiden toimitusaika oli arvioitu viiden ja yhdeksän arkipäivän välille. Maalimanlaajuinen COVID-19-pandemiatilanne paheni Kiinassa maaliskuun aikana, jonka takia Bluetooth-majakoiden lähetys myöhästyi alkuperäisestä aikataulusta.

5.3 Valmistajiin liittyvät riskit

Tuotteiden etsinnässä sekä niiden tilaamisessa oltiin yhteydessä siis eri yritysten asiakaspalveluihin sekä myyjiin. Yhteydenpidon lomassa huomattiin, että mitä lähempänä yrityksen toimipiste oli Suomea, sitä helpompaa ja nopeampaa vuorovaikuttaminen oli. Kun Bluetooth-majakoita valmistavan yrityksen toimipiste oli lähempänä Suomea, vastaukset kyselyihin tulivat nopeammin kuin kauempaa. Kaikki myyjät sekä asiakaspalvelijat vastasivat kuitenkin vuorokauden sisällä.

Muualta maailmasta tilatut tuotteet voivat olla rakennustyömaan paikkatietojärjestelmään alussa edullisempi investointi, mutta pitkällä aikavälillä mahdollisesti kalliimpi. Kun tuotteiden toimittaminen on epävarmempaa, se johtaa aikataulujen myöhästymiseen sekä lunastamattomiin asiakaslupauksiin. Tästä seuraa hallaa yrityksen maineelle sekä pahimmassa tapauksessa asiakaspako.

5.4 Turvallisuusriskit

Rakennustyömaan paikkatietojärjestelmän riskeissä on otettava huomioon myös tietoturvallisuuteen liittyvät riskit. Työmaiden kuvamateriaalin sekä asiakastietojen vuotamisella voi olla suuri vaikutus yrityksen maineeseen sekä kykyyn kilpailla muita alan toimijoita vastaan. Lisäksi paikkatietojärjestelmän avulla pystytään saamaan hyvä kuva työmaasta sekä mahdollisesti myös työmaalla käytetyistä materiaaleista ja koneistosta. Jos tämä tieto sattuisi päätyämään väärin käsiin, se saattaa nostaa työmaan kaluston sekä laitteiston riskiä joutua hyvin suunnitellun varkauden kohteeksi.

5.5 Laitteistoon liittyvät riskit

Laitteiston katoaminen sekä hajoaminen vaarantavat järjestelmän luotettavan toimivuuden, ja etenkin rakennustyömaan olosuhteissa nämä edellä mainitut riskitekijät on hyvä ottaa huomioon. Rakennustyömaan paikkatietojärjestelmän

kehityksen myötä uusi paikkatietojärjestelmä on entistä luotettavampi, sillä laitteet eivät enää ole riippuvaisia toisistaan. Tämä tarkoittaa sitä, että yhden ankkurin hajoaminen ei vaikuta muiden ankkureiden toimintaan. Tästä huolimatta laitteiston hajoamiseen sekä katoamiseen on varauduttava joko varaosien tai kokonaan vaihdettavien laitteiden avulla. Paikkatietojärjestelmän ohjelmoinnissa tapahtuneet virheet voivat johtaa järjestelmän vajaan toimintaan. Nämä virheet pystytään korjaamaan melko nopeasti niiden havaitsemisen jälkeen, mutta virheiden havaitseminen saattaa tapahtua vasta paikkatietojärjestelmän päivittämisen tai kehityksen aikana.

Rakennustyömaan paikkatietojärjestelmän jatkokehityksen avulla pyritään kasvattamaan Aiforsiten jo olemassa olevan paikkatietojärjestelmän luotettavuutta, joka on aikaisemmin ollut yksi riskitekijöistä rakennustyömaan paikkatietojärjestelmässä. Tämä tarkoittaa sitä, että jos yksi ankkuri hajoaa, tai signaalin läheytys estyy, niin se ei vaikuta muiden ankkureiden toimintaan.

Taulukko 2. Haastatteluissa ilmenneitä mahdollisia riskejä rakennustyömaan paikkatietojärjestelmässä. Taulukosta voidaan nähdä, että paikkatietojärjestelmässä todennäköisimmät riskit liittyvät järjestelmän toimimattomuuteen. (18.)

Vaikutus/ todennäköisyys	1. Ei vaikutusta	2. Vähän vaikutusta	3. Selvä vaikutus	4. Vakava vaikutus	5. Erittäin vakava vaikutus
1. Hyvin epätodennäköinen					Laitteiden toimitus /järjestelmän kehitys lakkautetaan globaalin kriisin takia
2. Epätodennäköinen			Rakennustyömaan paikkatietojärjestelmän laitteiston hajoaminen/katoaminen	Tietovuoto joka johtaa taloudellisesti merkittävään varkauteen työmaalla	Paikkatietojärjestelmän tietovuoto sekä väärinkäyttö
3. Todennäköinen		Ihmisten ristiriitainen suhtautuminen paikkatietojärjestelmään	Laitteiston vajaan toiminta/ virheet ohjelmoinnissa		
4. Hyvin todennäköinen					

6 Testattavat laitteet

6.1 Kriteerit ja vaatimukset

Testaukseen valituille Bluetooth-majakoiden on ennalta asetettu kriteerit Aiforsin toimesta. Tässä luvussa on kuvattu testaukseen valittujen majakoiden kriteereitä sekä lisäominaisuuksia, jotka löytyvät myös taulukosta 3.

Bluetooth-majakoiden tulisi kokonaisuudessaan olla mahdollisimman pitkäikäisiä, kompakteja sekä luotettavia. Valitut Bluetooth-majakat tullaan aluksi sijoittamaan rakennustyömaille Suomeen. Tämän takia ensimmäiseksi kriteerinä oli sääolosuhteiden sekä mahdollisten iskujen kestäminen. Työmaalle sijoitetun majakan tulisi toimia -20°C ja $+40^{\circ}\text{C}$ välillä, jolla pystytään varmistamaan, että laite sopii ulkokäyttöön pohjoisilla alueilla. Etsiessäni rakennustyömaan paikkatietojärjestelmään sopivaa majakkaa asetin vähimmäiseksi IP-luokaksi IP65.

Tässä luokassa laite on pölytiivis sekä kestävä vesisuihkua joka puolelta mutta ei jatkuvaa upotusta veden alle. Suurempi IP-luokitus olisi aina parempi, mutta majakassa tulisi olla vaihdettava paristo. Suurempi IP-luokitus mahdollistaisi monipuolisempia sovelluksia ja sen johdosta laite kestäisi paremmin kosteutta. Majakassa tulisi olla vaihdettava paristo, jotta niiden käyttöikä olisi mahdollisimman pitkä ja tämän myötä myös järjestelmän kustannukset laskisivat. Pariston käytöllä majakoista saataisiin myös ympäristöystävällisempiä. Jos majakan suojakotelon pystyy avaamaan, sen suojaluokitus putoaa vähintään IP67 suojaluokitukseen. Rakennustyömaaympäristössä käytettävälle majakalle suojaluokitus IP67 on kuitenkin riittävä.

Bluetooth majakan koon tulisi olla kompakti, jotta sen pystyisi kiinnittämään esimerkiksi työmaakypärään ilman, että se vaikuttaisi työn tekemiseen tai liikkumiseen. Lisäksi Bluetooth-majakon kiinnittäminen tulisi olla helppoa ja varmaa.

Bluetooth majakan tulisi tukea Eddystone- sekä iBeacon-protokollia, jolloin laitteet pystyisivät ottamaan kaiken hyödyn irti sovellusten mahdollisuuksista nyt sekä tulevaisuudessa.

Majakana tulisi sietää mahdollisia häiriöitä ja sen pitäisi lähettää signaalia maksimissaan 400 millisekunnin välein. Pariston tulisi myös kestää yli kaksi vuotta tuolla signaalin lähetysintervallilla ja jatkuvalla 6x10h käytöllä. Tällä käytöllä viitataan normaalin työajan lisäksi mahdollisesti tehtäviin ylitoihin. Kun majakan paristo kestänee kaksi vuotta 6x10h käytöllä, sillä tarkoitetaan, että majakan akku kestänee kaksi vuotta, kun sitä käytetään kuutena päivänä viikossa kymmenen tuntia päivässä.

Majakassa tulisi olla jokin pariston loppumisesta kertova ilmoitus sen käyttäjälle esimerkiksi LED-valo.

6.2 Lisäominaisuudet

Vaadittujen kriteerien lisäksi olisi hyvä, jos majakassa olisi joitakin lisäominaisuuksia. Hyviä lisäominaisuuksia voisivat olla painonappi, joka on käyttäjän tai organisaation yleisesti konfiguroitavissa. Vapaasti painonapille asetettavan komennon avulla sillä voitaisiin parantaa työmaan sekä henkilöiden turvallisuutta. Painonappiin asetettu komento voisi olla esimerkiksi hätäilmoitus. Tätä hätäilmoituskomentoa voisi hyödyntää myös esimerkiksi työmaalla toimiva vartiointialan yritys.

Jos majakoiden käyttö paikkatietojärjestelmissä yleistyy maailmanlaajuisesti, olisi hyvä ottaa huomioon globaalit sääolosuhteet. Tällöin olisi hyvä, että majakan toiminta on taattu jopa -30°C ja $+60^{\circ}\text{C}$ välillä. Korkeasta lämpötilan siedosta voi olla muitakin etuja, esimerkiksi teollisuudessa saattaa olla tiloja, jossa lämpötila pysyy ajoittain korkealla.

Lisäksi olisi hyvä, jos majakoilla olisi kyky suurempaan signaalinlähetysintervalliin esimerkiksi 1000 ms. Mitä laajemmin majakan signaalinlähetysintervallia pystytään säätämään, sitä parempi energiatehokkuus pystytään saavuttamaan paikkatietojärjestelmässä. Jos majakasta löytyy 3-axis G-sensori, voidaan sen avulla asettaa majakka virransäästötilaan esimerkiksi silloin, kun se ei ole liikkeessä. Virransäästötilassa majakka lähettäisi radiosignaalia harvemmin.

6.3 Testattavat laitteet

Kuvasta 4 löytyvät paikkatietojärjestelmässä testatut Bluetooth-majakat. Confidex VIKING on brasilialaisen Beontag-yrityksen omistuksessa olevan Confidexin valmistama, ja loput ovat kiinalaisen MOKOSmart-yrityksen valmistamia Bluetooth-majakoita. Kyseiset Bluetooth-majakat valikoituivat rakennustyömaan paikkatietojärjestelmän jatkokehitykseen, sillä niistä kaikilla on kompakti koko, riittävä patterin kesto sekä tarpeeksi korkea IP-luokitus. Laitteet H7, M2 sekä Confidex VIKING on suunniteltu työmaan olosuhteisiin. Testauksessa on tarkoitus selvittää laitteiden ominaisuuksia ja se, miten laitteet toimivat työmaaympäristössä.



Kuva 4. Kuvassa testaukseen valitut Bluetooth-majakat. Confidex VIKING on brasilialaisomistuksessa olevan Beontag-yrityksen valmistama ja muut majakat ovat kiinalaisen MOKOSmart-yrityksen valmistamia. Kuvassa näkyvät myös majakoille asetetut tunnukset testauksen ajaksi. (23.)

Taulukossa 3 on Aiforsiten ennalta määrätyt kriteerit, joiden perusteella Bluetooth-majakat valittiin ja pystyttiin toteamaan käyviksi rakennustyömaan

paikkatietojärjestelmään. Kriteereitä on kuvailtu enemmän Kriteerit ja vaatimukset -luvussa.

Taulukko 3. Havainnollistava taulukko, miten Bluetooth-majakoiden kriteerit täyttyivät. (19.)

Laitteen nro.	1	2	3	4	5	6
Laitteen nimi	H7 Helmet	M2 Asset	H5 RFID	H2	H2A	Viking Classic
Kriteerit	X = Annettu kriteeri täyttyy - = Annettu kriteeri ei täyty					
Patterin kesto vähintään 24kk	X	X	X	X	X	X
Signaalin lähetyksen aikaväli on max. 400ms laitteen ollessa käytössä	X	X	X	X	X	X
Laitteen tulisi toimia tuli -20°C ja +40°C asteen välillä	X	X	X	X	X	X
Laitteen käyttäjä saa tiedon pariston loppumisesta	X	X	X	X	X	X
Laitteen kiinnitys tulisi olla helppoa ja varmaa	X	X	X	X	X	X
IP-luokitus vähintään IP65	X	X	X	X	X	X
Laite ei saa olla liian suuri	X	X	X	X	X	X
Lisäominaisuudet						
Painonappi johon pystyy määrittämään komennon	X	-	X	X	X	-
Säädettävä signaalin lähetystaajuus	X	X	X	X	X	X
Laite toimii molempien protokollien kanssa (Eddystone&iBeacon)	X	X	X	X	X	X
Kiihtyvyyssanturi jolla voidaan optimoida akun kesto	X	X	X	X	X	X
LED-valo	X	X	X	X	X	-
Vaihdettava paristo	X	X	X	X	X	-

6.4 Testattavien laitteiden vertailu

Majakat, joita paikkatietojärjestelmässä testattiin, saapuivat Kiinasta sekä Suomesta. Ensimmäisenä tuotteiden vertailukohteena on tuotteiden saatavuus. Suomesta tilattu Confidexin majakka saapui muutaman päivän sisällä tilauksesta eikä tilauksessa ollut ongelmia. Suomessa toimivalla Confidexillä oli myös tarjota testaukseen ilmainen näytekappale. Kiinasta tilatut MOKOSmartin Bluetooth-majakat saapuivat vajaan kuukauden jälkeen, kun tilaus oli tehty. Tilauksen yhteydessä toimitusajaksi oli luvattu 5-9 vuorokautta, mutta COVID-19-pandemiatilanteen takia lähetys viivästyi. Suomessa toimivan valmistajan kanssa laitteiden tilaaminen oli nopeampaa, helpompaa sekä ilmaista. Kommunikointi molempien yhtiöiden välillä oli vaivatonta ja nopeaa, mutta Suomessa toimivasta yhtiöstä vastattiin nopeammin ja kommunikointikieli oli sama.

Bluetooth-majakoiden hinnoissa ei ollut kiinalaisten tuotteiden välillä suuria eroja. Kaikki kiinalaiset Bluetooth-majakat maksoivat alle 10 euroa per kappale ja isommissa, esimerkiksi 100 kappaleen tilauksissa Bluetooth-majakat maksavat 6–9 euroa per kappale. Kuten aikaisemmin mainittiin, suomalaisen valmistajan testikappale oli ilmainen ja isommassa tilauksessa yhden Bluetooth-majakon hinnaksi tulisi noin 15 - 20 euroa. Suomalaisen Bluetooth-majakoiden valmistaja on julkaisemassa kesällä uutta mallia, joka sallisi pattereiden vaihdon ja olisi edullisempi.

Bluetooth-majakoiden ominaisuuksissa oli myös pieniä eroavaisuuksia, joista näkyvin oli painonappi tai sen puuttuminen. Yhdessä kiinalaisessa M2-majakassa sekä Confidexin VIKING-majakassa siihen asetettu kytkin toimi magneetin avulla. Tämä kytkin ei siis ole tarkoitettu majakan kantajan käyttöön vaan pääasiassa tehdasasetusten palauttamista varten. Muissa majakoissa kytkin oli painettava nappi, johon pystyy mobiilisovelluksen avulla asettamaan erilaisia asetuksia, kuten esimerkiksi säätämään majakan signaalin lähetystaajuutta tai vaihtamaan majakan käyttämää protokollaa.

Laitteiden mobiilisovellusten käyttöliittymien vertailussa ensimmäinen huomio on, että suomalaisen yrityksen sovellus, jolla Bluetooth majakalle saa asetettua asetuksia on saatavilla vain Android-laitteille. Kiinalaisen yrityksen mobiilisovellus on saatavilla Android- sekä iOS-laitteille. Molempien mobiilisovellusten ulkoasu oli selkeä mutta suomalaisen majakoiden valmistajan sovelluksessa oli valmiina erilaisia kuvaajia, joista pystyi seuraamaan esimerkiksi majakan kiihtyvyyttä sekä signaalin voimakkuutta reaaliaikaisesti.

Bluetooth-majakoiden konfiguroinnissa huomattiin, että kiinalaisten tuotteiden kanssa ilmeni ongelmia, jos laitteen asetuksia vaihtoi monesti lyhyen ajan sisällä. Tästä seurasi yhteyden katoaminen, sillä laite muutti omaa UUID-tunnustaan itsenäisesti. Tähän ei saatu mitään järkevää selitystä, joten kyseessä on todennäköisesti ohjelmointivirhe. Suomalaisen majakan konfiguroinnissa ei ollut ongelmia.

7 Testaus ja pohdinta

Testauksessa on tarkoitus selvittää Bluetooth-majakoiden ominaisuuksien toiminta sekä majakoiden toiminta osana Wizzilab-pohjaista paikkatietojärjestelmää. Testauksessa halutaan selvittää, mikä olisi paras mahdollinen signaalin lähetys teho Bluetooth-majakalle, jotta se kuuluisi aina jollekin työmaan ankkurille.

Testauksella on tarkoitus myös selvittää, millä tavalla ankkureiden asennustiheys vaikuttaa paikkatietojärjestelmän kattavuuteen. Testauksessa selvitetään myös tukiaseman kuuluvuus työmaalle.

7.1 Testausympäristö

Tuotetestaus toteutetaan toimistotiloissa sekä työmaaolosuhteissa. Tiloissa, joissa laitteita testataan, on seiniä, mahdollisesti radiosignaalia häiritseviä laitteita sekä katvealueita. Laitteiden toiminnallisuutta voidaan testata sisätiloissa,

sillä sääolosuhteet eivät vaikuta laitteiden signaalin kantavuuteen lukuun ottamatta ukkosta. Tästä huolimatta laitteita pyritään testaamaan mahdollisimman todennukaisissa olosuhteissa. Jokaiselle laitteelle on määritelty IP-luokka sekä toimintalämpötila, josta saadaan selville, kestäkö laite vesisadetta, kuumuutta ja pakkasta.

7.2 Toimistotestauksen suunnittelu

Toimistotestaus suoritetaan Aiforsiten toimistolla Keilaniemessä, Espoossa. Toimistotestauksen tarkoituksena on saada varmuus laitteiston toimivuudesta, jotta sitä voidaan lähteä testaamaan työmaalle. Toimistotestaus on tärkeä osa koko testausprosessia, sillä kun laitteiston toimivuus on varmistettu, pystytään aika työmaalla käyttämään tehokkaasti testaamiseen.



Kuva 5. Ankkureiden sijoitussuunnitelma Bluetooth-majakoiden toimistotestausta varten. (24.)

Toimistotestauksessa on tarkoitus testata majakan, ankkurin sekä gatewayn eli tukiaseman kommunikointia sekä toimivuutta. Testaus toteutetaan asettamalla

ankkureita ympäri Keilaniemen toimistorakennuksen tiloja, jonka jälkeen toimistorakennuksessa kävellään ympäriinsä majakoiden kanssa. Tällä tavalla pystytään simuloimaan paikkatietojärjestelmän datan keräämistä mahdollisimman todenmukaisella tavalla. Testauksessa testataan myös tukiasemat, jotta ankkureiden keräämä data saadaan talteen ja tätä myötä tarkasteltavaksi. Toimistotestaus dokumentoidaan Gopro-kameralla, jotta pystytään myöhemmin selvittämään, mihin aikaan on oltu minkäkin ankkurin luona. Videokuvaamalla testauksen siihen voidaan palata myöhemmin ja sen avulla voidaan varmistaa, että pilvipalvelusta löytyvät aikaleimat sekä majakoiden sijainnit pitävät paikkaansa.

7.3 Työmaatestauksen suunnittelu

Työmaatestauksessa on tarkoitus testata rakennustyömaan paikkatietojärjestelmän sekä testaukseen valittujen Bluetooth-majakoiden toimivuutta mahdollisimman todenmukaisessa tilanteessa sekä ympäristössä. Testaus koostuu pääasiassa toiminnallisesta testauksesta, mutta testauksen aikana myös paikkatietojärjestelmän käytettävyyttä otetaan huomioon. Toiminnallisella testauksella on tarkoitus varmistaa, että ohjelmisto toimii ja sille asetetut vaatimukset täyttyvät. Tässä vaiheessa paikkatietojärjestelmän kehitystä ei vielä tarvitse huomioida ohjelman visuaalista ilmettä.

Testauksessa olisi hyvä, jos majakalle pystyisi asettamaan asetukset, joiden avulla signaalin lähetystä pystytään muuttamaan annettujen raja-arvojen välillä. Esimerkiksi kun majakka havaitsee liikkeen, se aloittaa lähettämään signaalia 400 millisekunnin intervallilla, ja kun majakka on ollut 30 sekuntia paikoillaan, se lähettää signaalia 10 sekunnin intervallilla. Tämän asetuksen avulla majakan virrankäyttö pystytään optimoimaan, jotta majakan paristo kestäisi mahdollisimman pitkään.

Työmaatestaukseen otetaan mukaan kaikki testattavat majakat, osa testattavista ankkureista sekä kaksi tukiasemaa. Toimistotestauksen suunnittelukappa-

leessa on mainittu testauksessa käytetyt majakoiden sekä ankkureiden numeroinnit, jotka ovat samat myös työmaatestauksessa. Niin kuin toimistotestauksessa, myös työmaatestauksessa on tarkoitus, että ankkurit tunnistavat majakat sekä niiden liikkeet ja antavat oikeaa dataa majakoiden sijainnista. Sijaintitiedon todenmukaisuus on myös työmaatestauksessa suunniteltu toteutettavaksi siten, että testaus tallennetaan Gopro-videokameralla. Tarkoituksena on kuvata testauksesta video, jossa videoon on lisätty kello. Tämän avulla pystytään jälkeempään vertailemaan, mihin aikaan valittu majakka ja ankkuri ovat olleet läheisessä kontaktissa. Kun videoon on lisätty kello, pystytään ankkurin lähettämän datan aikaleimalla varmistamaan, että kyseinen ankkuri ja majakka ovat olleet lähellä toisiaan tietynä ajankohtana.

Testauksessa ankkurit sijoitetaan työmaalla eri tiloihin, jonka jälkeen majakoiden kanssa ryhdytään kävelemään työmaa-alueella. Testauksen aikana työmaalla liikutaan mahdollisimman paljon joka paikassa, että saadaan tarpeeksi kattavaa dataa majakoiden liikkeistä sekä testattua majakan ja ankkurin välistä yhteyttä. Testauksen aikana on myös hyvä testata paikallaan olemista ja varmistaa että majakan signaalin lähetystaajuus pysyy samana, vaikka henkilö seisoi lähes paikoillaan. Signaalin lähetystaajuuden halutaan vain muuttuvan, kun työntekijä on tauolla tai lopettaa työpäivän. Majakan on tarkoitus muuttaa signaalin lähetystaajuutta, kun majakka on täysin paikoillaan.

Työmaatestauksessa on tarkoitus toteuttaa reittitestausta sekä pistetestausta. Testien tarkoituksena on kerätä dataa ennalta määritetyissä pisteissä, jonka avulla saadaan paljon dataa signaalin vahvuudesta. Pistetestin avulla signaalin voimakkuuksia sekä katvealueita eri tiloissa on helpompi havainnoida. Myös pistetestin datan mittauspisteet määritetään työmaalla.

7.4 Testausraportti

7.4.1 Toimistotestaus

Toimistotestauksessa testattiin, että Bluetooth-majakat yhdistyvät Aiforsiten uuteen, kehitysvaiheessa olevaan paikkatietojärjestelmään. Toimistotestausta varten asetimme myös kiinalaisen valmistajan majakoille asetuksen, jonka avulla majakan virrankulutus saadaan optimoitua. Kun kiinalaisen valmistajan majakka on paikoillaan 10 sekuntia, se alkaa lähettämään signaalia iBeacon protokollalla, jolloin signaalin lähetyksen taajuus on 1 signaali 10 sekunnin välein. Kun majakka havaitsee liikettä 10 sekunnin ajan, niin se ryhtyy käyttämään Eddystone protokollaa, jolloin signaalin lähetystaajuus muuttuu 400 millisekuntiin.

Ankkurin tunnus	Gatewayn tunnus	Aikaleima	Majakkan tunnus	Etäisyys	Havainto
Anchor ID	Gateway ID	Timestamp	Beacon ID	Link Budget	Nb Seen
001BC50C7003D22B	001BC50C7002C374	2022-04-25 13:06:27	[1, 2]	39	5
001BC50C7003D22B	001BC50C7002C374	2022-04-25 13:06:27	[4, 1]	79	4

Kuva 6. Osa toimistotestauksessa kerätystä datasta taulukkomuodossa. (25.)

Testauksessa kerätystä datasta tehdään taulukko, jossa ankkurin tunnus kertoo, mikä ankkuri vastaanottaa signaalia majakalta. Gateway ID kertoo, mille tukiasemalle majakka lähettää tietoa vastaanotetuista signaaleista ja Timestamp kertoo, milloin tieto on lähetetty tukiasemalle. Majakan tunnus kertoo, mikä majakka on lähettänyt signaalia, ja Link Budget kertoo majakan sekä ankkurin etäisyyden. Luvun yksikkö on dB (Desibeli). Mitä suurempi Link Budgetin luku on, sitä kauempana majakka on ankkurista. Viimeisenä taulukon osana on Nb Seen, jolla tarkoitetaan, kuinka monta kertaa ankkuri on havainnut majakan kahden lähetyksen välillä.

Majakoiden lähettämä Bluetooth-signaali ei ole kovinkaan tarkka, jonka takia majakka lähettää signaalia usein, tässä testauksessa 400ms:n välein. Tämän tarkoituksena on saada ankkurille paljon signaaleja Bluetooth-majakalta, jonka

avulla Bluetooth-majakon signaaleista pystytään ottamaan keskiarvo, jolla etäisyys määritetään. Tämän takia ankkuri myös havaitsee Bluetooth-majakon monta kertaa yhden mittauksen aikana.

7.4.2 Ongelmat toimistotestauksessa

Toimistotestaus vei paljon aikaa, sillä Bluetooth-majakoihin, ankkureihin sekä tukiaseman laitteistoon täytyi tutustua ja ne täytyi saada toimimaan. Tämän jälkeen alkoi tutustuminen majakoiden valmistajien kehittämiin mobiilisovelluksiin, joilla majakoiden asetuksia pystyttiin muuttamaan. Confidexin Bluetooth-majakalle kehittämä sovellus oli todella yksinkertainen, joten se saatiin toimimaan halutulla tavalla lähes heti.

59	001BC50C7003D22A	001BC50C7002C374	2022-04-25 15.30 [1, 2]	36	4
60	001BC50C7003D22A	001BC50C7002C374	2022-04-25 15.30 [4, 1]	81	5
61	001BC50C7003D22A	001BC50C7002C374	2022-04-25 15.30 [4, 3]	85	2
62	001BC50C7003D226	001BC50C7002C34C	2022-04-25 15.30 [3, 4]	8	4
63	001BC50C7003D226	001BC50C7002C34C	2022-04-25 15.30 [1, 2]	30	4
64	001BC50C7003D226	001BC50C7002C34C	2022-04-25 15.30 [4, 1]	70	4
65	001BC50C7003D226	001BC50C7002C34C	2022-04-25 15.30 [4, 3]	75	3
66	001BC50C7003D22A	001BC50C7002C374	2022-04-25 15.31 [3, 2]	8	2
67	001BC50C7003D22A	001BC50C7002C374	2022-04-25 15.31 [1, 2]	43	2
68	001BC50C7003D22A	001BC50C7002C374	2022-04-25 15.31 [4, 1]	81	3
69	001BC50C7003D22A	001BC50C7002C374	2022-04-25 15.31 [4, 3]	82	2
70	001BC50C7003D22A	001BC50C7002C374	2022-04-25 15.31 [4, 4]	89	1
71	001BC50C7003D226	001BC50C7002C34C	2022-04-25 15.31 [3, 2]	0	2
72	001BC50C7003D226	001BC50C7002C34C	2022-04-25 15.31 [1, 2]	24	3
73	001BC50C7003D226	001BC50C7002C34C	2022-04-25 15.31 [3, 4]	26	1
74	001BC50C7003D226	001BC50C7002C34C	2022-04-25 15.31 [4, 3]	67	2
75	001BC50C7003D226	001BC50C7002C34C	2022-04-25 15.31 [4, 1]	70	4
76	001BC50C7003D226	001BC50C7002C34C	2022-04-25 15.31 [4, 4]	84	2
77	001BC50C7003D225	001BC50C7002C34C	2022-04-25 15.31 [3, 1]	12	1
78	001BC50C7003D225	001BC50C7002C34C	2022-04-25 15.31 [3, 4]	20	2

Kuva 7. Kuvakaappaus toimistotestauksen testidatasta. Keltaisella on huomioitu havaittuja virheitä Bluetooth-majakoiden toiminnassa, harmaalla merkityt rivit kuvaavat paikallaan olevia Bluetooth-majakoita. Todellisuudessa aikana 15.31 ollaan oltu liikkeessä, jolloin majakoiden olisi pitänyt käyttää vain numerolla 3 alkavaa tunnusta. (26.)

Toimistotestauksessa testattiin yhteyden lisäksi myös sitä, miten majakoiden protokollien vaihtuminen toimii. Majakoiden tunnuksen ensimmäinen numero kertoo sen, onko majakka liikkeessä vai pysähtynyt. Asetimme suomalaisen majakan tunnukseksi [1,2] ja kiinalaisen valmistajan Bluetooth-majakkan tunnuksen alkavaksi numerolla kolme, jos majakka liikkuu ja numerolla neljä, jos majakka on paikoillaan. Kuvasta 7 voidaan huomata, että esimerkiksi majakka, jonka pääte on yksi, ei toimi halutulla tavalla. Testauksen aikana majakat olivat liikkeessä, mutta silti tukiasema vastaanotti dataa molemmilla protokollilla majakasta, jonka tunnus loppuu numeroon yksi.

Bluetooth-majakat unohdettiin myös kalibroida ennen toimistotestausta, jonka takia Link Budget ikkunan luvut eivät ole luotettavia.

7.4.3 Työmaatestaus

Työmaatestaus toteutettiin Hyvinkään sairaalan peruskorjaustyömaalla. Testausta tehtiin kaksi päivää, jonka aikana testattiin paikkatietojärjestelmän toimivuutta sekä yhteyksiä majakan ja ankkurin välillä sekä ankkurin ja gatewayn eli tukiaseman välillä. Työmaalla tehtiin paikkatietojärjestelmälle kaksi testiä, jotka toteutettiin samanaikaisesti. Testit, joita tehtiin, olivat pistetestit sekä reittitesti. Ennen varsinaisen työmaatestauksen aloittamista tukiasema asennettiin työmaatoimistolle sekä työmaalle. Tukiasema asennettiin myös työmaalle, jotta signaalivahvuudet olisivat varmasti hyviä ja luotettavaa dataa saataisiin kerättyä, tässä vaiheessa ei vielä ollut varmuutta kuuleeko työmaatoimistolle asennettu tukiasema työmaa-alueella sijaitsevat ankkurit.



Kuva 8. Vasemmalla työmaan alakeskus ja oikealla työmaalle sijoitettu tukiasema. (27.)

Testauksessa kerätystä datasta yritettiin tehdä mahdollisimman yksinkertaista, jotta sitä olisi helpompi analysoida. Tästä johtuen majakoista poistettiin väliaikaisesti paikallaololle asetettu harvempi lähetysväli. Ennen kuin virallinen testaus aloitettiin, kalibroimme Bluetooth-majakat, suunnittelimme ankkureiden sijoittamisen työmaalle sekä reitin, jota pitkin reitti sekä pistetestaus toteutetaan. Asetimme kaikille majakoille eri signaalin lähetysvahvuudet testauksen ajaksi.

Majakoille asetetut signaalien voimakkuudet

	Tx power	Tx power new (dBm)	Calibration (Eddystone)
Confidex		-12	-8
3.1	3 dBm	-8	-13
3.2	3 dBm	-4	-18
3.3	0 dBm	0	-21
3.4	0 dBm	+3	-15
3.5	-4 dBm	+4	-32

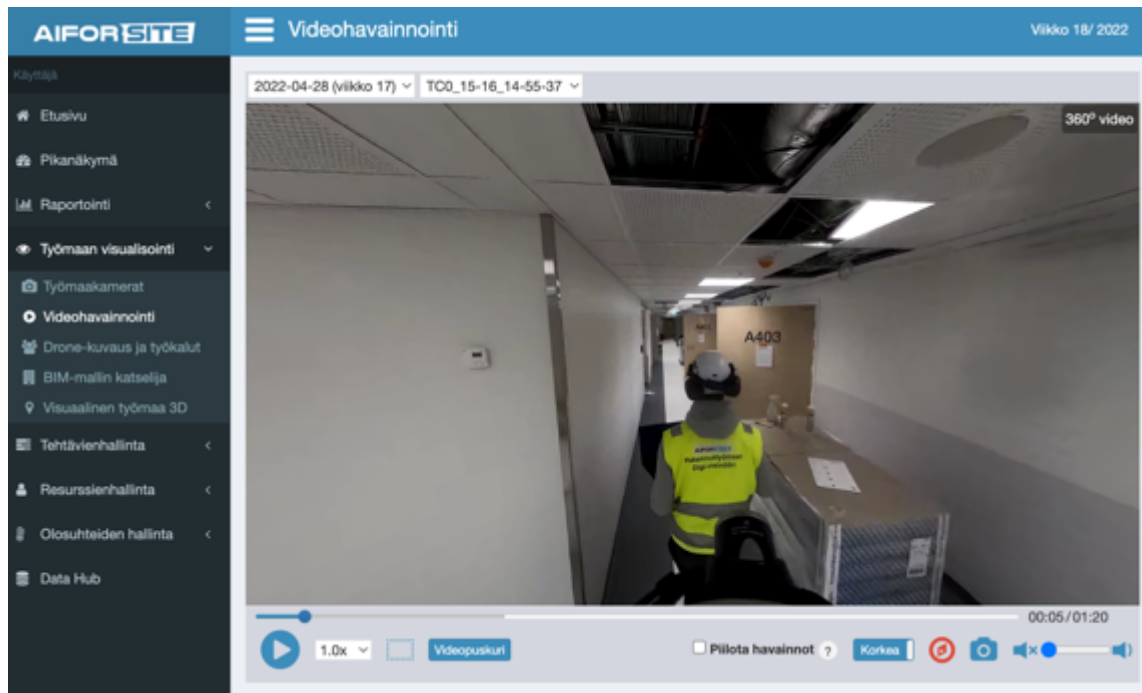
Kuva 9. Bluetooth-majakoille asetetut signaalin lähetystehot. (28.)



Kuva 10. Työmaan kattoon testauksen ajaksi sijoitettu ankkuri. (29.)

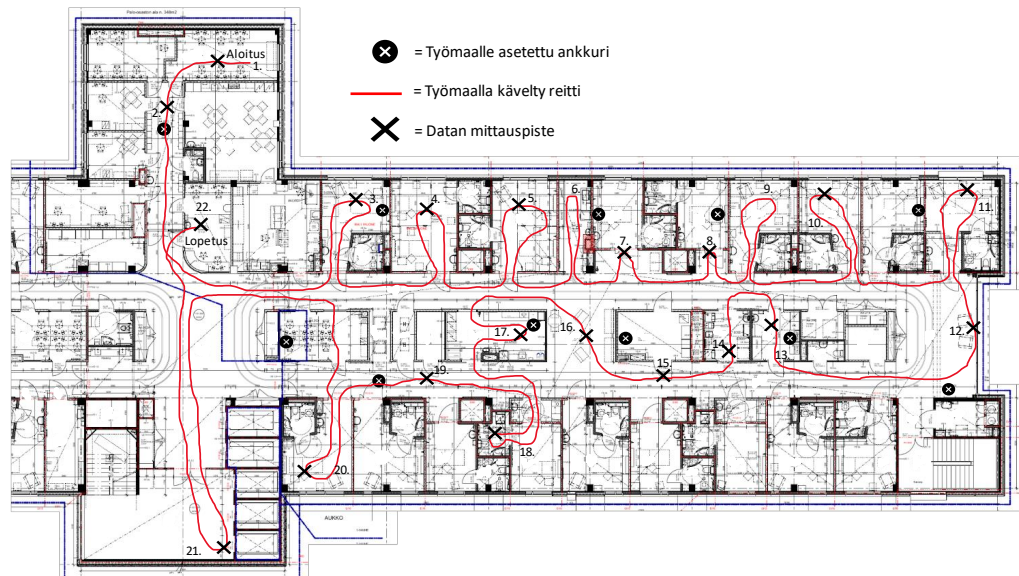
Ensimmäisenä testauspäivänä toteutimme pistetestin sairaalan neljänteen kerrokseen. Sairaalan 4. kerroksessa ankkureita oli asennettu huomattavasti

enemmän, sillä mitattava alue oli myös paljon suurempi. Testit kuvattiin GoPro-kameralla, jolloin saatiin tallennettua, mihin aikaan milläkin ankkurilla on käyty.



Kuva 11. Kuvakaappaus työmaatestauksen videosta, joka on ladattu Aiforsiten järjestelmään. Kuvasta nähdään videon päivämäärä, testi jota suoritetaan sekä kellonaika. (30.)

Tallentamalla testit videokameralle, datan analysointi myöhemmin on paljon helpompaa, kun voidaan varmasti osoittaa, minkä ankkurin kohdalla on oltu mihinkin aikaan. Testit toteutettiin kävelemällä ennalta suunniteltu reitti, majakat taskussa. Reitille oli määritetty mittauspisteet, joissa pysyttiin paikoillaan minuutin ajan. Pistetesti tehtiin, jotta tarpeeksi kattavaa dataa signaalien kantavuuksista voitiin saada.



Kuva 12. Työmaatestauksen reitti, ankkureiden sijainti sekä datan mittauspisteet. Pohjapiirustuksessa Hyvinkään sairaalan neljäs kerros. (31.)

Työmaatestauksen toisena päivänä teimme samat testit kuin ensimmäisenä päivänä. Ainoana erona on että siirsimme neljännessä kerroksesta kuusi ankkuria pois, joista neljä sijoitettiin viidenteen kerrokseen ja kaksi kolmanteen. Tällä tavalla pystyimme keräämään dataa viidennestä kerroksesta siten, että majakan signaalin vastaanottimia on lisätty, jotta signaalia kuullaan paremmin. Edellä mainitun testin avulla pystytään vertailemaan kahta erillistä dataa, jossa toinen on kerätty silloin, kun ankkureita on sijoitettu kerrokseen vähemmän, ja toinen, kun ankkureita on sijoitettu kerrokseen enemmän. Tällä tavalla pystytään selvittämään kyseiselle tilalle oikea ankkureiden määrän tarve. Toisena testauspäivänä teimme myös toisen reittitestin neljänteen kerrokseen sen jälkeen, kun kuusi ankkuria oli siirretty sieltä muualle. Myös tämän testin tarkoituksena oli selvittää, miten paikkatietojärjestelmä toimii, kun ankkureita on kerroksessa vähemmän. Teimme toisena testauspäivänä myös kerrostenvälisen pistetestin. Sijoitimme ankkurit neljännen ja kolmannen kerroksen tiloihin, jonka jälkeen aloitimme testin. Kerrosten välisessä piste-testissä testattiin majakoiden kuuluvuutta rappukäytävässä, missä ankkureita ei ollut sijoitettu.



Kuva 13. Reitti- ja pistetestin tallennus kypärään sijoitettuun videokameraan. (32.)

Viimeisenä testinä teimme tukiaseman kuuluvuustestin. Tätä testiä varten työmaalla sijaitseva tukiaseman sammutettiin, jotta nähtiin, kantaako työmaatoimistolle sijoitetun tukiaseman kuuluvuus rakennustyömaalle. Testissä huomattiin, että työmaatoimiston tukiasema vastaanotti dataa kaikilta ankkureilta. Ankkureiden signaalit olivat pääosin hyviä avoimissa tiloissa. Suljetuissa tiloissa sekä nurkissa signaalin laatu oli avoimiin tiloihin verrattuna heikompi mutta kuitenkin toimiva. Työmaatestauksessa onnistuttiin hyvin sekä sille asetettuihin tavoitteisiin päästiin.

7.5 Tulokset

Työmaatesteissä kerätystä datasta pystyttiin etsimään vastauksia testauskappaleessa esitettyihin kysymyksiin. Kerätystä datasta tehtiin havainnollistava

kuva sairaalan pohjapiirustukseen, jossa dataa oli helpompi analysoida. Kuvassa jokaiselle Bluetooth-majakalle on annettu värikoodi ja ankkurit on merkitty tunnuskoodin neljällä viimeisellä numerolla, jotka löytyvät ankkureiden kyljestä. Havainnollistava kuva (liite 1) helpotti datan analysointia.

Datan analysointivaiheessa muistettiin, että data näkyy tiedostoissa minuutin viiveellä. Tämä on huomioitu liitteissä siten, että mittauspisteelle kuljettu reitti on piirretty karttaan. Tämän avulla voidaan havainnoida ankkurit sekä ankkureiden tuloksia, jotka ovat olleet reitin varrella varsinaisena mittaushetkenä.

Kerätystä datasta voitiin huomata, että vaikka Bluetooth-majakalle M2 oli asetettu alhainen signaalin lähetysvahvuus, niin ankkurit vastaanottivat sen signaalia ajoittain paremmin kuin muiden majakoiden (liite 1). Bluetooth-majakalle H7 oli asetettu korkein mahdollinen signaalin lähetystaajuus, ja se näkyi kerätystä datasta selvästi. Bluetooth-majakka H7 näkyi laajimmalle alueelle samassa kerroksessa, jossa mittaus tehtiin. Lisäksi H7 näkyi myös muihin kerroksiin.

Bluetooth-majakat kuuluivat työmaatestissä hyvin, ja optimivoimakkuus signaalin lähetysteholle olisi -4 dBm ja +3dBm väliltä. Näillä arvoilla majakat kuuluivat hyvin samaan kerrokseen asetetuille ankkureille. Isommat signaalin lähetystehot kuuluivat jopa toisiin kerroksiin, jota ei tässä testauksessa haluttu. Testauksen aikana jopa matalimmalle signaalin lähetysteholle asetetut majakat näkyivät jokaisessa testauspisteessä vähintään yhdelle ankkurille. Tässä täytyy kuitenkin muistaa, että erehtymisestä johtuen Confidexin VIKING-majakalla oli käytössään myös suurempi signaalin lähetysteho testauksen aikana.

Mielenkiintoinen sekä erikoinen löytö, joka datasta tehtiin, liittyi juuri Bluetooth-majakoiden H7 ja M2 lähettämään dataan. Vaikka majakalla M2-signaalin lähetysteho oli paljon alhaisempi kuin H7:llä, se näkyi datassa lähes yhtä hyvin. Erikoisen tuloksesta tekee erityisesti se, että molemmat edellä mainitut majakat ovat saman valmistajan työmaille suunniteltuja Bluetooth-majakoita.

Ankkureiden asennustiheydellä ei ollut suurta vaikutusta Bluetooth majakoiden havainnoimisessa. Vertailemalla liitteitä 2 ja 3, voidaan huomata, että kevyemmällä ankkuroinnilla (liite 2) Bluetooth-majakat näkyvät jollekin ankkurille jokaisessa mittauksessa. Suurin ero, mitä kevyen sekä raskaan ankkuroinnin välillä huomattiin, oli majakoiden näkyvyyden lisääntyminen testissä, jossa käytettiin raskaampaa ankkurointia (liite 3). Täytyy kuitenkin huomioida, että mittauspisteellä yksi (liite 2) ankkuri D25D ei ole saanut huomannut majakkaa H2A. Kuitenkin mittauspisteellä kaksi (liite 2) ankkuri D25D on huomannut majakan.

Kaikki majakat suoriutuivat työmaatestistä kiitettävästi ja jopa heikoimmat signaalivahvuudet näkyivät hyvin, lukuun ottamatta muutamaa hankalampaa aluetta sairaalan tiloissa.

7.6 Pohdinta

Opinnäytetyön tavoitteena oli tehdä kartoitusta sekä vertailua markkinoilta löytyvistä Bluetooth-majakoista. Lisäksi tehtävänä oli valita sopivat majakat rakennustyömaan paikkatietojärjestelmään sekä testata majakat paikkatietojärjestelmässä. Opinnäytetyön aiheena oli jatkaa rakennustyömaan paikkatietojärjestelmän kehitystä ja siinä onnistuttiin hyvin. Päättävöitteena oli päästä testaamaan Bluetooth-majakoita rakennustyömaa ympäristössä sekä päästä tutustumaan paikkatietojärjestelmän toimintaan sekä hyötyihin. Opinnäytetyön päätavoitteessa onnistuttiin hyvin, huolimatta COVID-19-pandemian aiheuttamista aikataulumuutoksista.

Opinnäytetyö oli alun perin aikataulutettu valmistuvaksi aikaisemmin mutta työn valmistumista siirrettiin, jotta mahdollinen työmaatestaus sekä datan kerääminen saataisiin suoritettua. Aikatauluja jouduttiin muuttamaan yllättävistä syistä, joihin ei ollut mahdollista vaikuttaa. Tämän takia oli hyvä, että aikatauluihin oli jätetty varaa joustaa.

Työn tuloksia pystytään käyttämään rakennustyömaan paikkatietojärjestelmän jatkokehityksessä sekä mahdollisesti uusissa paikkatietoa hyödyntävissä soveluksissa.

Lähteet

1. Limnel, J. 2019. Teknologian radikaali kehitys haastaa ihmistä ja luottamusta. Verkkoaineisto. <<https://www.kaleva.fi/teknologian-radikaali-kehitys-haastaa-ihmista-ja-l/1705164>>. Luettu 2.3.2022.
2. Puro, J. 2017. Mikä on Bluetooth-Beacon ja miten sitä voi hyödyntää sovelluskehityksessä. Verkkoaineisto. <<https://www.ite-wiki.fi/blog/2017/11/mika-on-bluetooth-beacon-ja-miten-sita-voi-hyodyntaa-sovelluskehityksessa/>>. Luettu 7.3.2022.
3. Akpinar, E. 2021. Bluetooth beacons: Everything you need to know. Verkkoaineisto. <<https://www.pointr.tech/blog/beacons-everything-you-need-to-know>>. Luettu 2.3.2022.
4. Moko Blue 2021. All about Eddystone Beacon. Verkkoaineisto. <<https://www.mokoblue.com/all-about-eddystone-beacon/>>. Luettu 20.3.2022.
5. Federal Information Processing Standards Publication 197. 2001. Advanced encryption standard. Verkkoaineisto <<https://apps.dtic.mil/sti/pdfs/ADA403903.pdf>>. Luettu 3.4.2022.
6. D7A:D7A-LoRa:LoRaWAN. Verkkaineisto. Wizzilab <<https://wizzilab.com/dash7-technology> WizziLab and DASH7>. Luettu 5.4.2022
7. Löytönen, M. 2003. Globus GIS. Paikkatietoaineisto S. 61.
8. Löytönen, M. 2003. Globus GIS. Mistä syntyy paikkatietojärjestelmä? S. 50-52.
9. Löytönen, M. 2003. Globus GIS. Ominaisuustieto + sijaintitieto = paikkatieto S. 12.
10. Löytönen, M. 2003. Globus GIS. Käyttäjä päättää ja päättelee S.55.

11. Löytönen, M. 2003. Globus GIS. Aineisto eli data S.55.
12. Löytönen, M. 2003. Globus GIS. Paikkatietojärjestelmien tulevaisuus S.15.
13. Bonnie, E. 2019. What is Beacon Technology Marketing? Verkkoaineisto. <<https://clevertap.com/blog/beacon-marketing/>>. Luettu 15.4.2022.
14. Zhuang, Siyan. Tuotepäällikkö, Aiforsite, Espoo. Haastattelu. 21.2.2022.
15. Aumala, O. 2002. Mittaustekniikan perusteet. Signaalinkäsittely S.123.
16. Aumala, O. 2002. Mittaustekniikan perusteet. Häiriösuojaus S.143-146.
17. iBeacon data specs. Verkkoaineisto. <<https://austinblackstoneengineering.com/ble-beacons-ibeacon-altbeacon-uribeacon-and-derivatives/>>. Luettu 5.4.2022.
18. Zhuang, Siyan. Tuotepäällikkö, Aiforsite, Paloheimo Tuomas. Tekninen toimihenkilö, Aiforsite, Espoo. Haastattelu. 25.3.2022.
19. Zhuang, Siyan. Tuotepäällikkö, Aiforsite, Espoo. Haastattelu. 14.3.2022.
20. Löytönen, M. 2003. Globus GIS s.96.
21. Booyesen, M.J. 2018. Module-level monitoring of solar PV plants using wireless sensor networks. Verkkoaineisto.<https://www.researchgate.net/figure/LoRa-Spreading-Factor-SF-Bitrates-and-Time-on-Air-LoRa-is-chosen-as-the-wireless_fig7_324043563>. Luettu 24.4.2022.

22. Zhuang, Siyan. Tuotepäällikkö, Aiforsite, Espoo. Haastattelu. 7.3.2022.

23. Uotila, Eemeli. Espoo. 13.4.2022.

24. Paloheimo, Tuomas. Tekninen toimihenkilö, Aiforsite, Espoo.

25. Uotila, Eemeli. Helsinki. 27.4.2022.

26. Uotila, Eemeli. Helsinki 27.4.2022.

27. Uotila, Eemeli. Hyvinkää 29.4.2022.

28. Zhuang, Siyan. Tuotepäällikkö, Aiforsite, Espoo. Haastattelu. 28.4.2022.

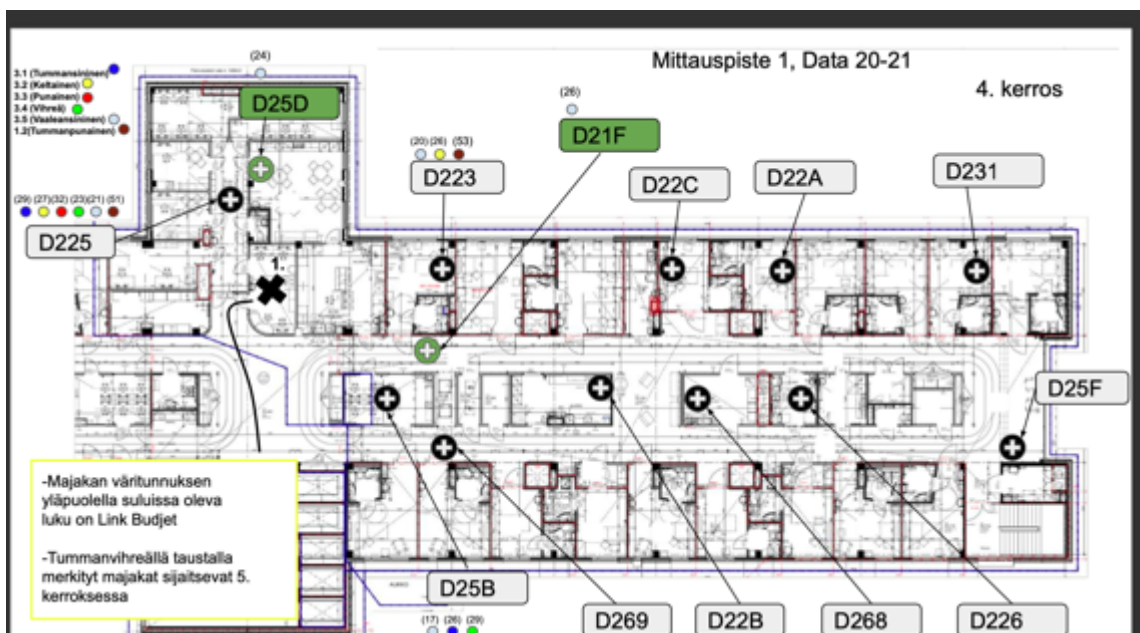
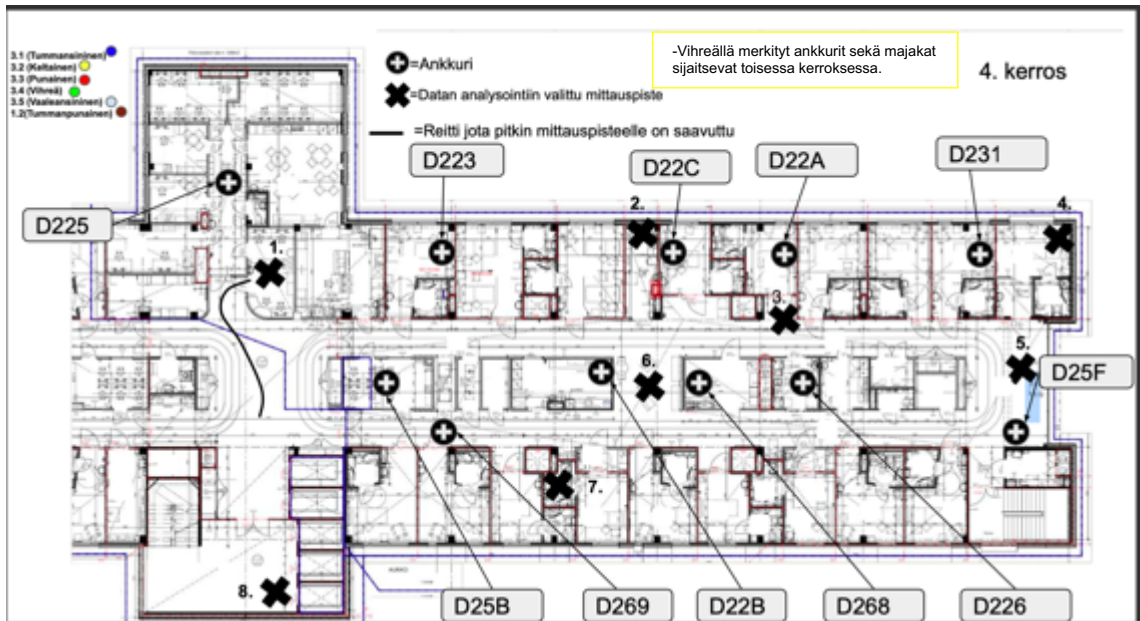
29. Uotila, Eemeli. Hyvinkää 28.4.2022.

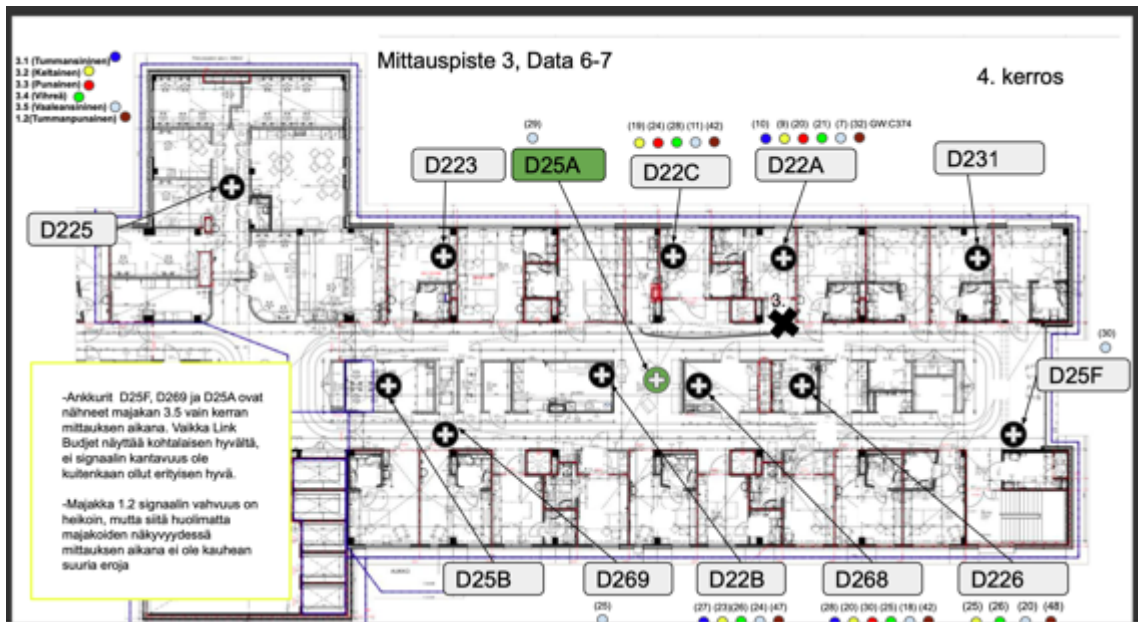
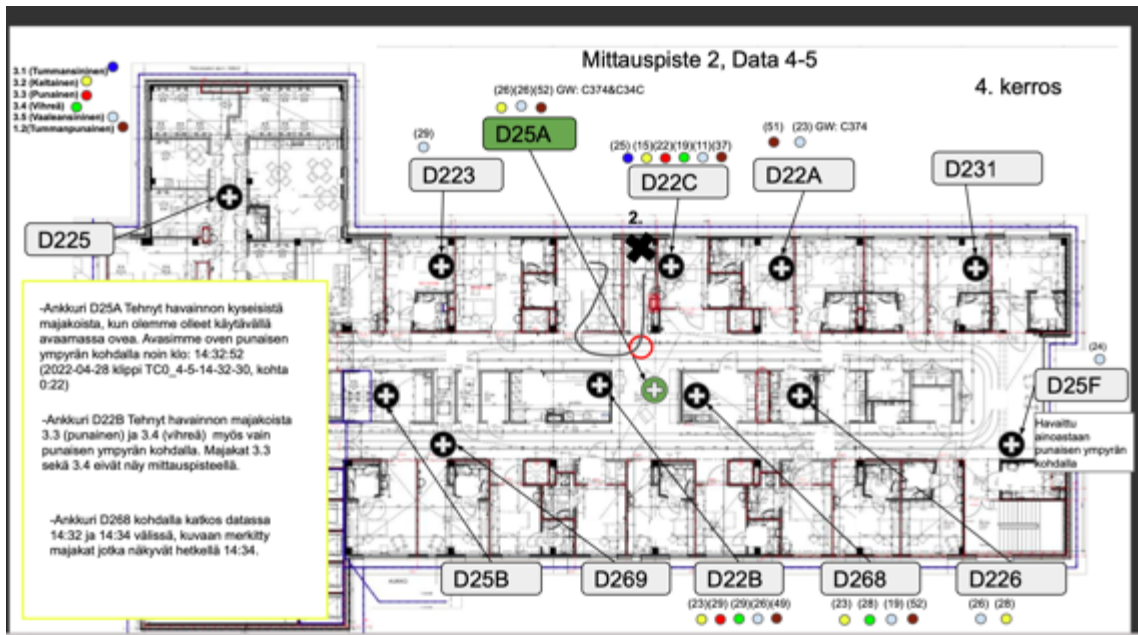
30. Aiforsiten nettisivut. Verkkoaineisto. <<https://aicalculation.io>> Kuva otettu
7.5.2022.

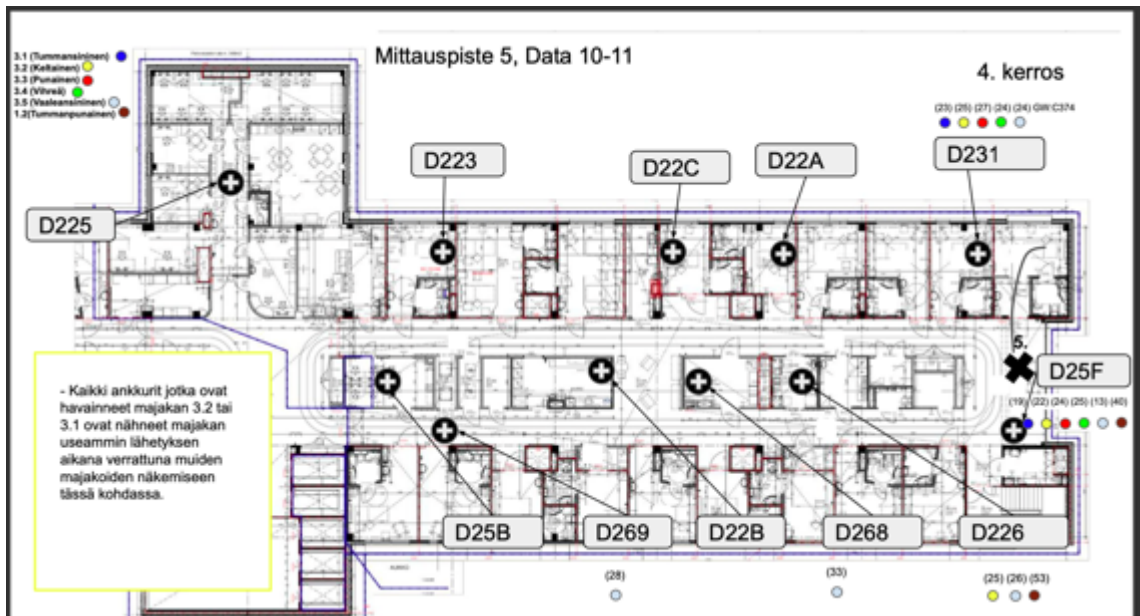
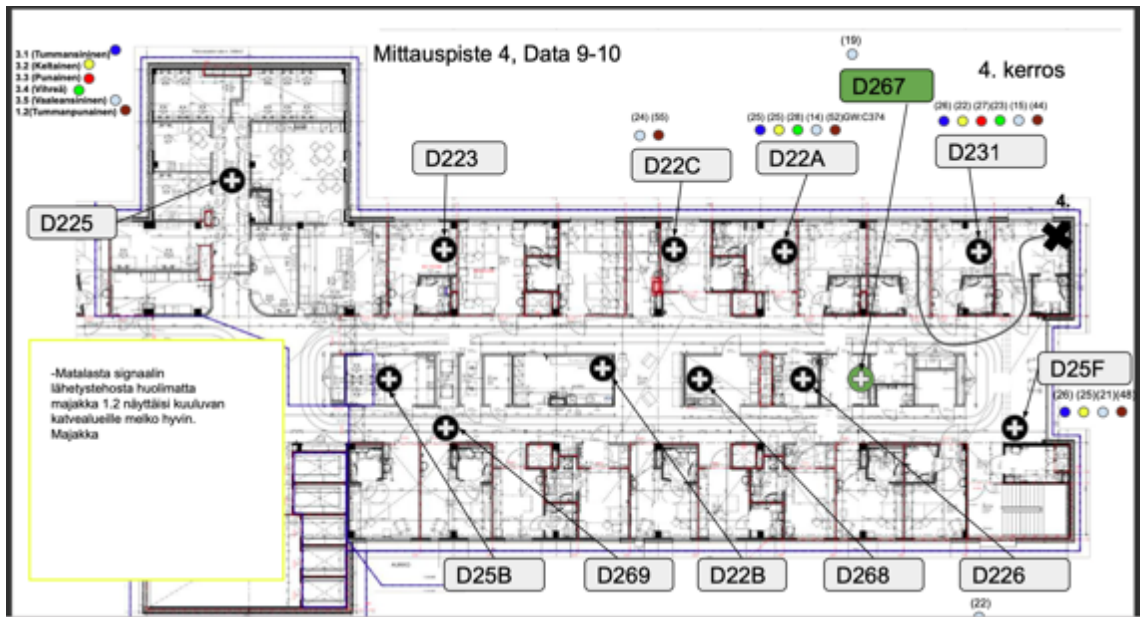
31. Uotila, Eemeli. Helsinki. 30.4.2022.

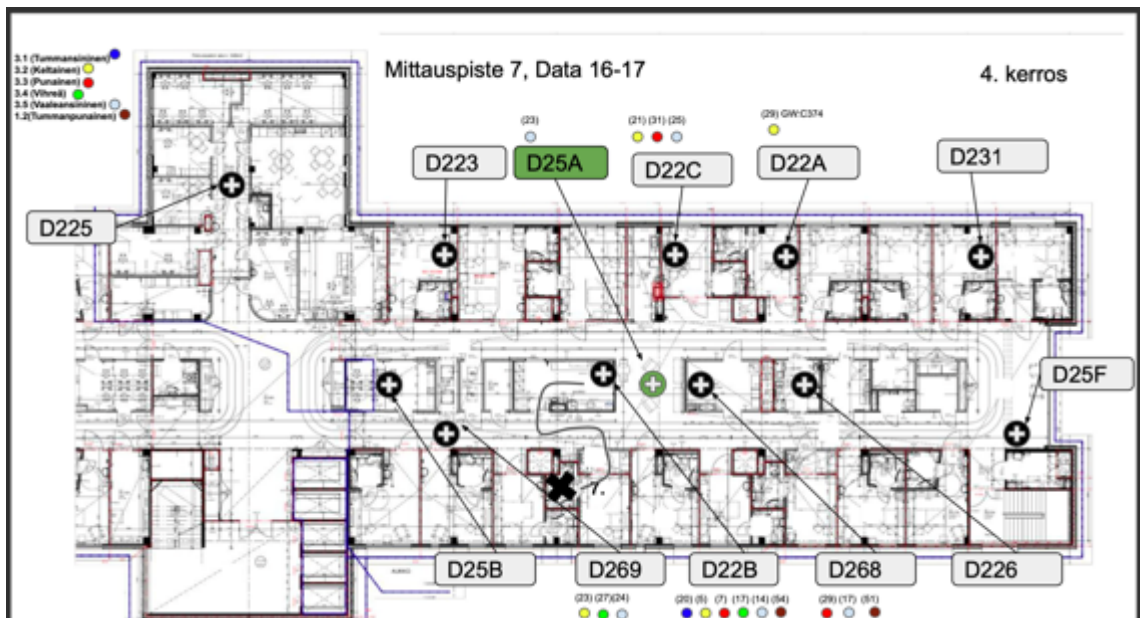
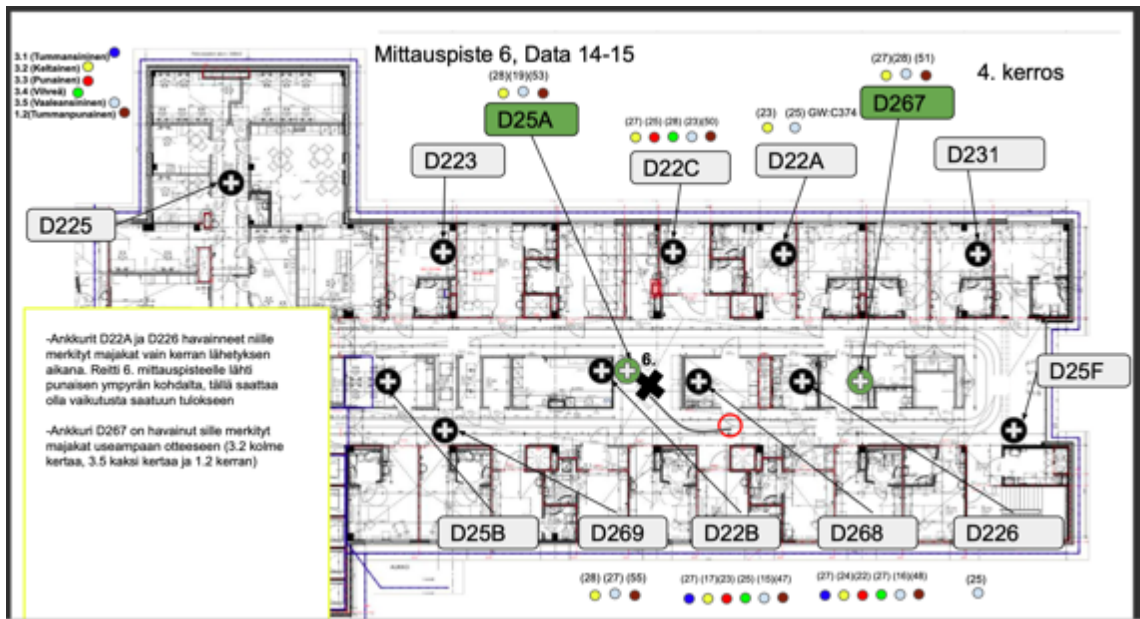
32. Uotila, Eemeli. Hyvinkää. 29.4.2022.

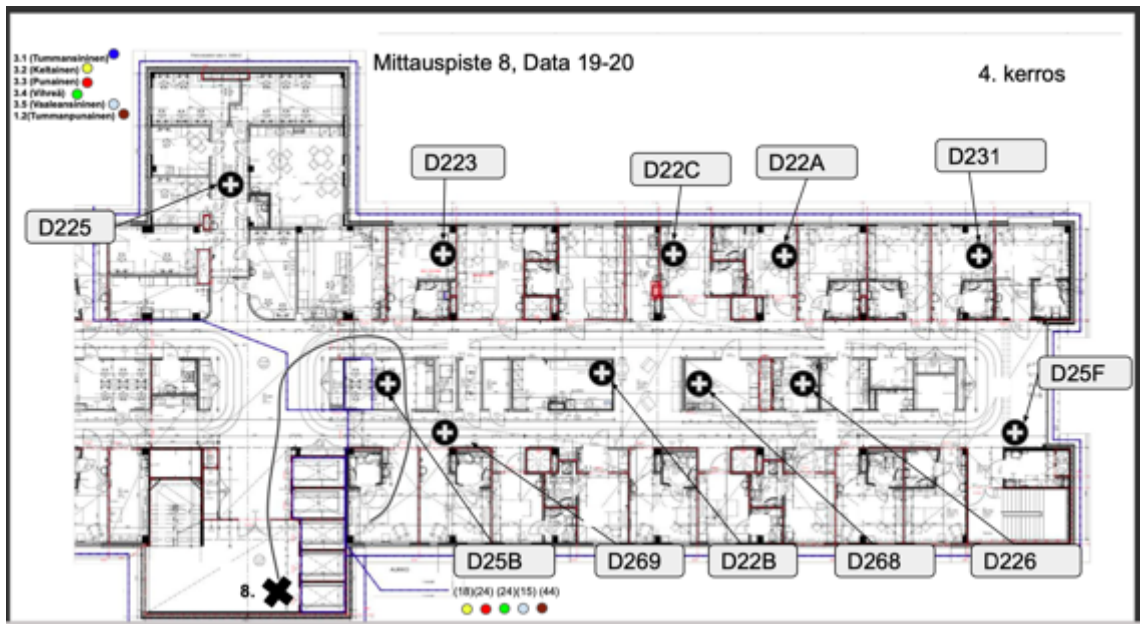
Neljannen kerroksen pistetesti



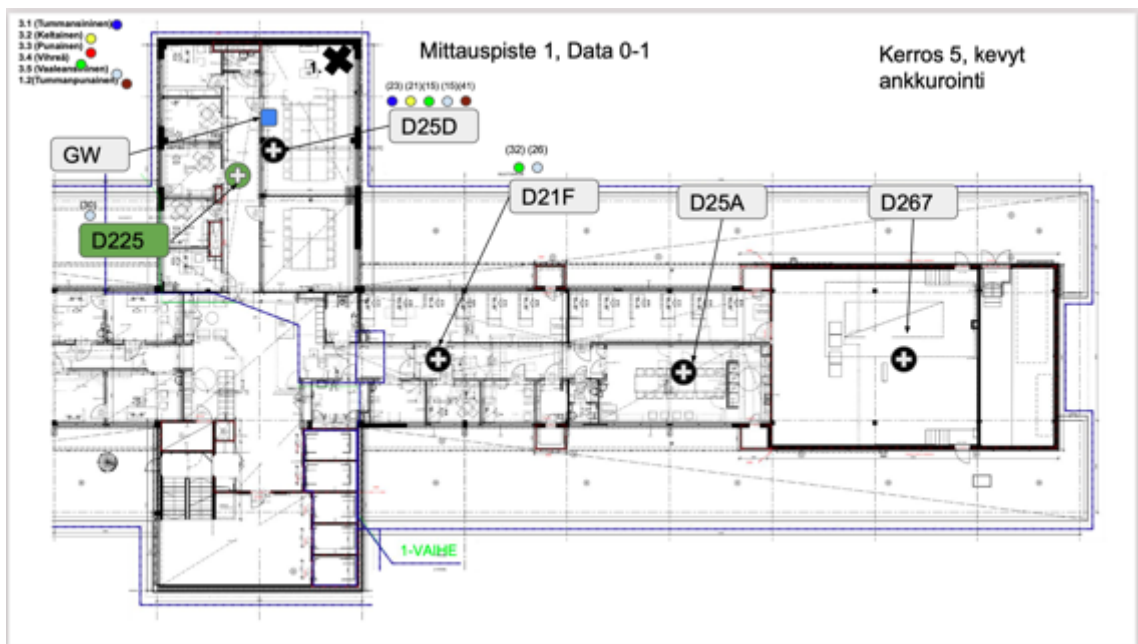
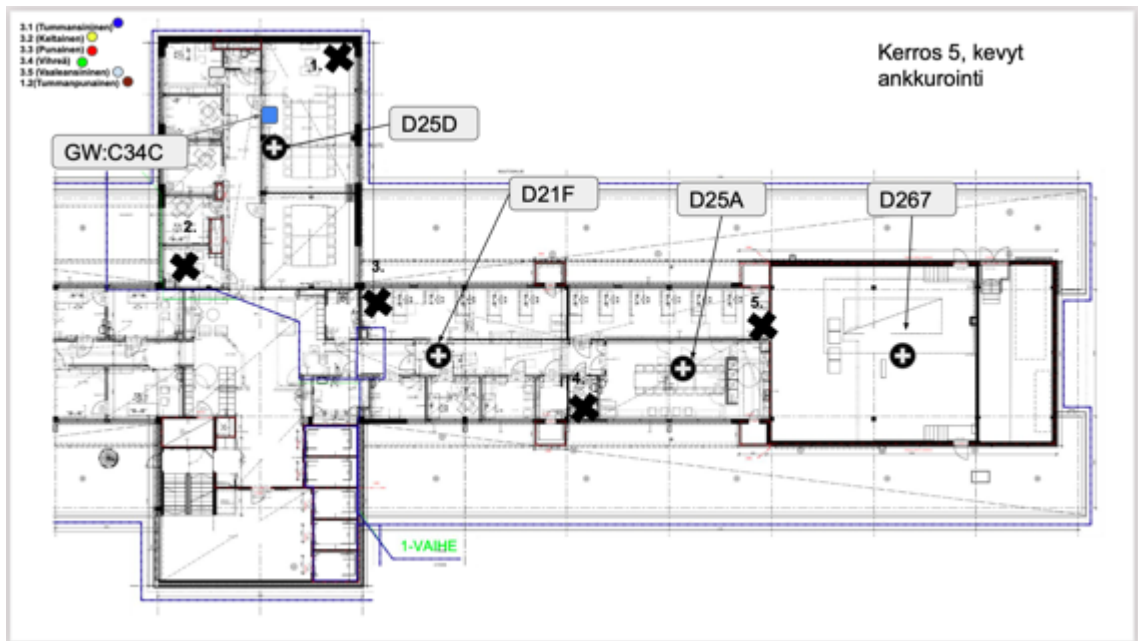


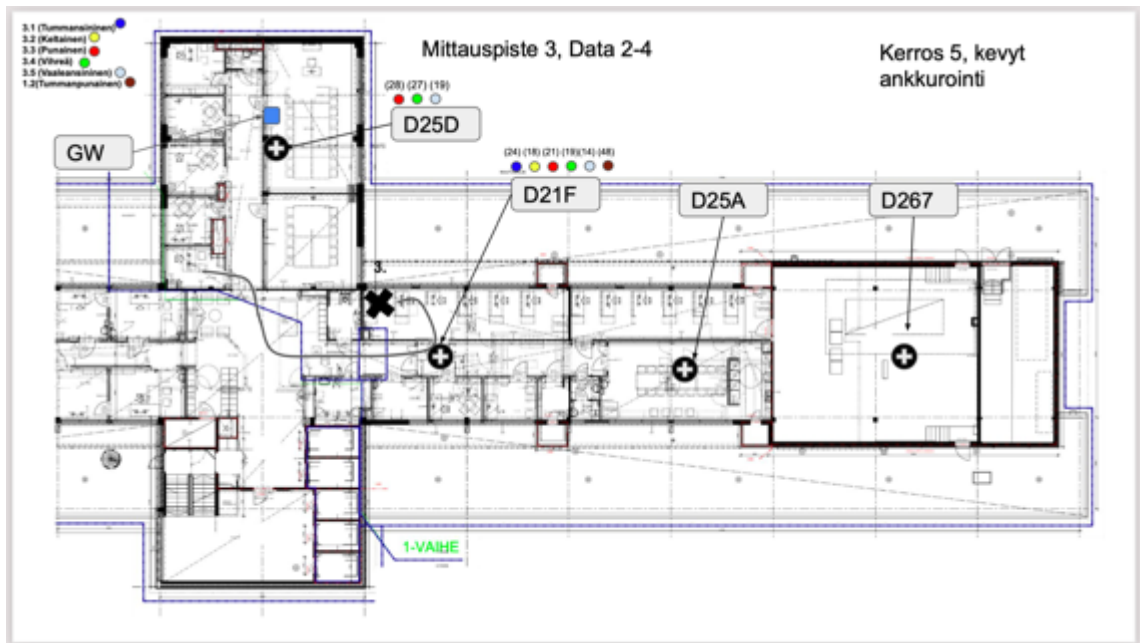
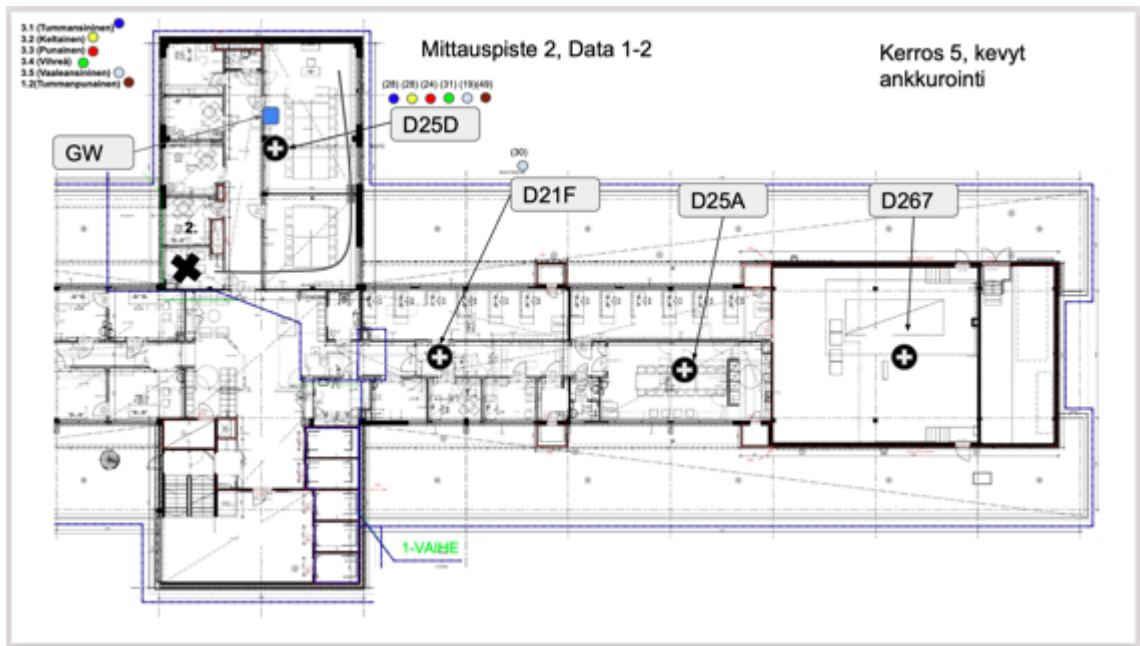


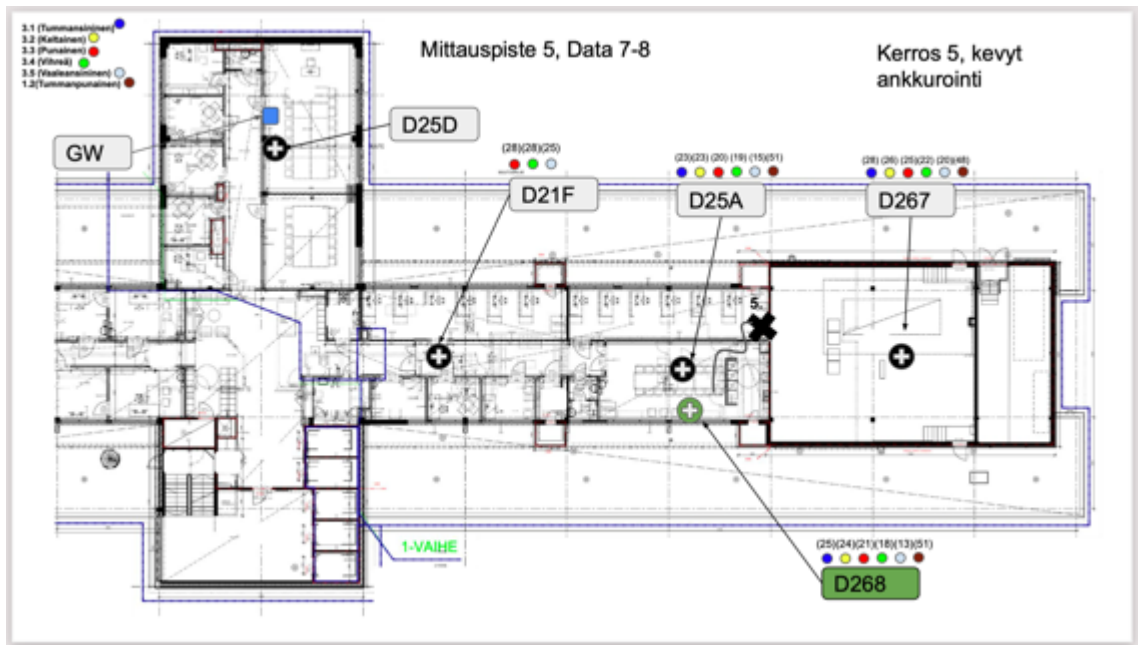
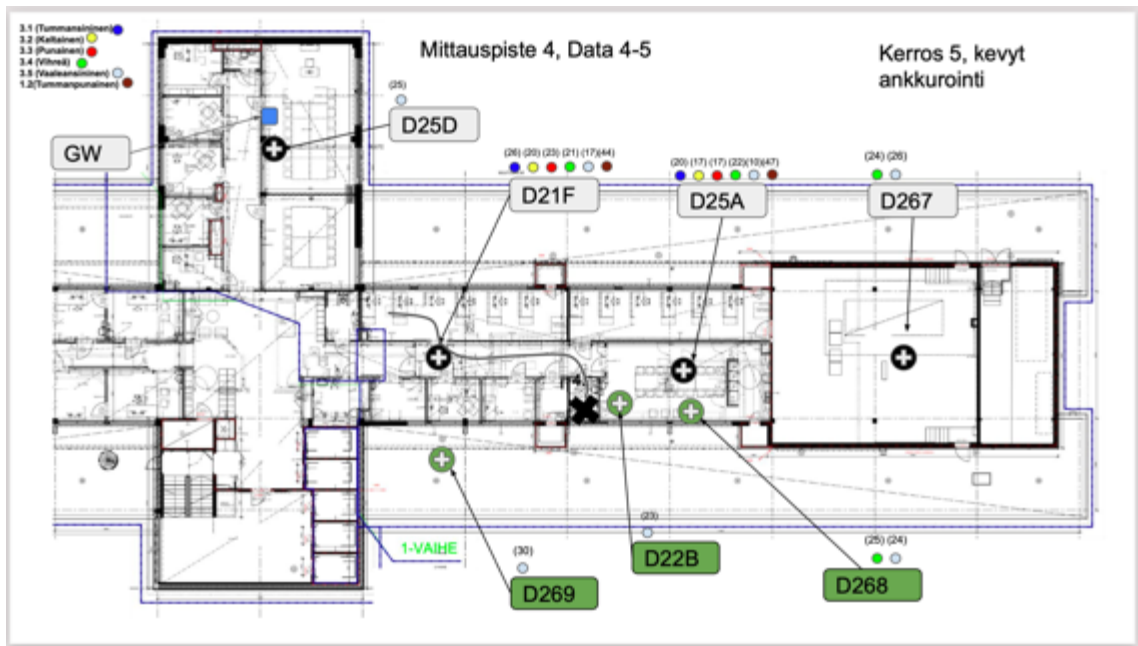




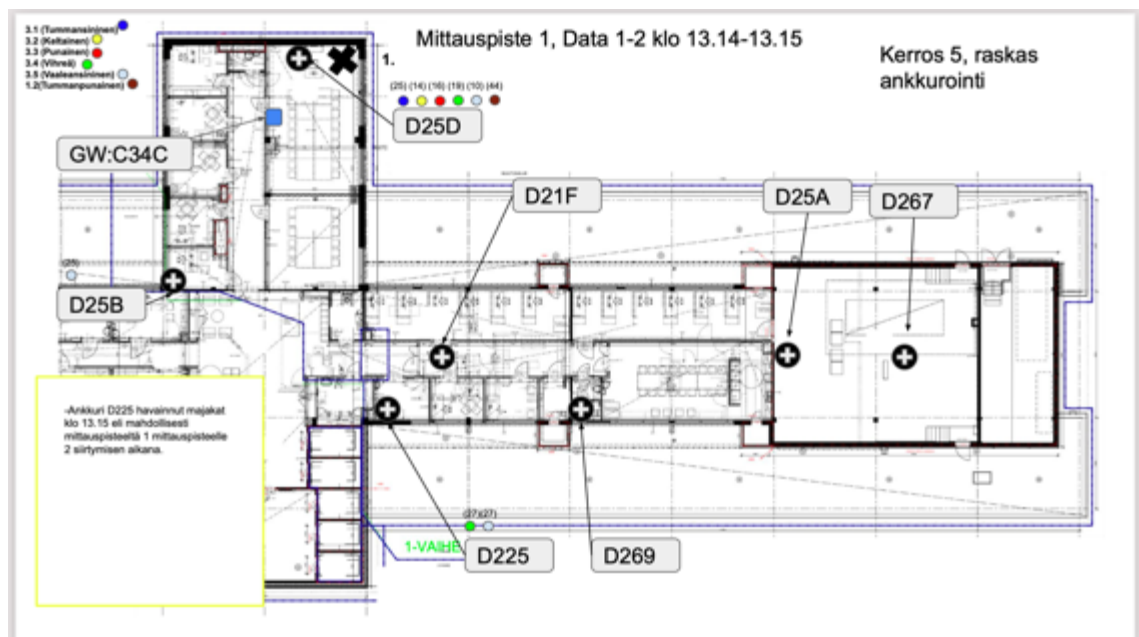
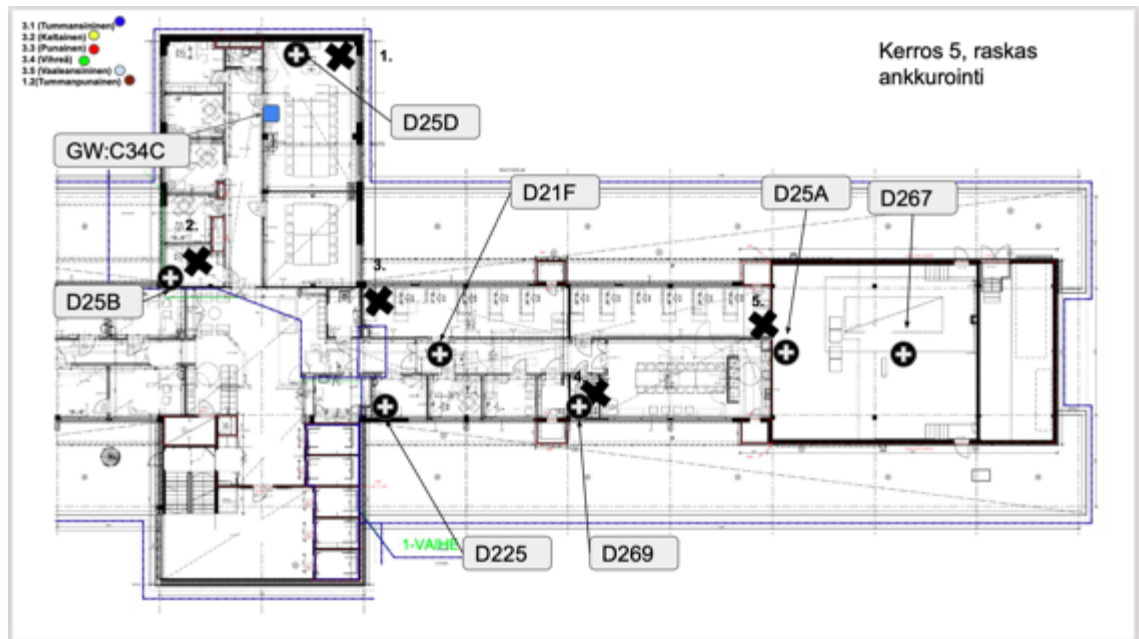
Viidennen kerroksen kevyt ankkurointi

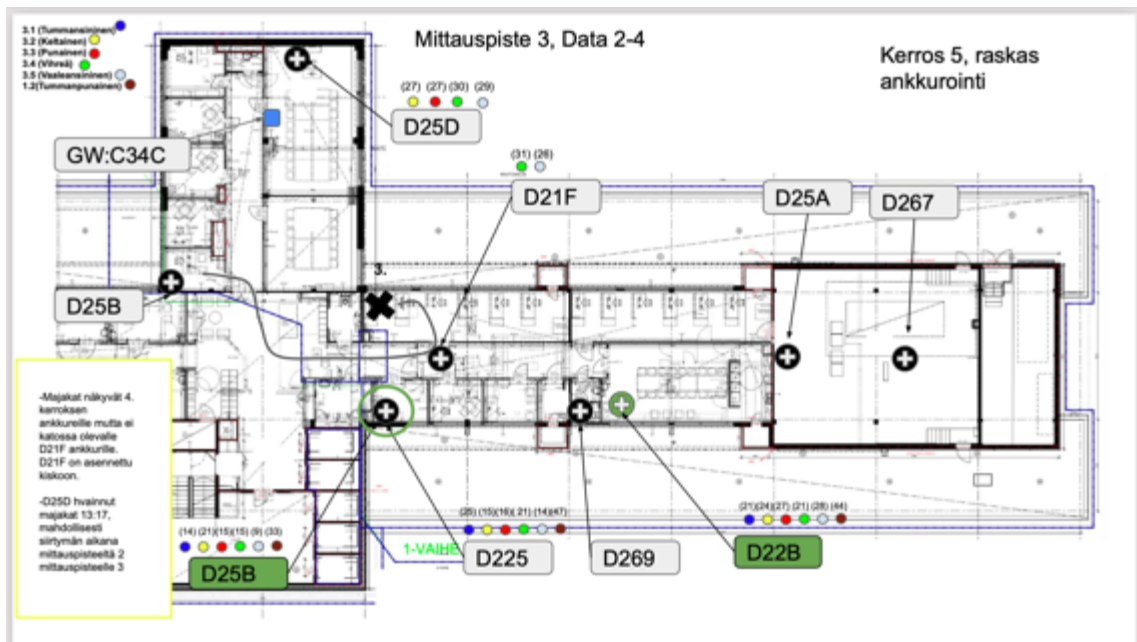
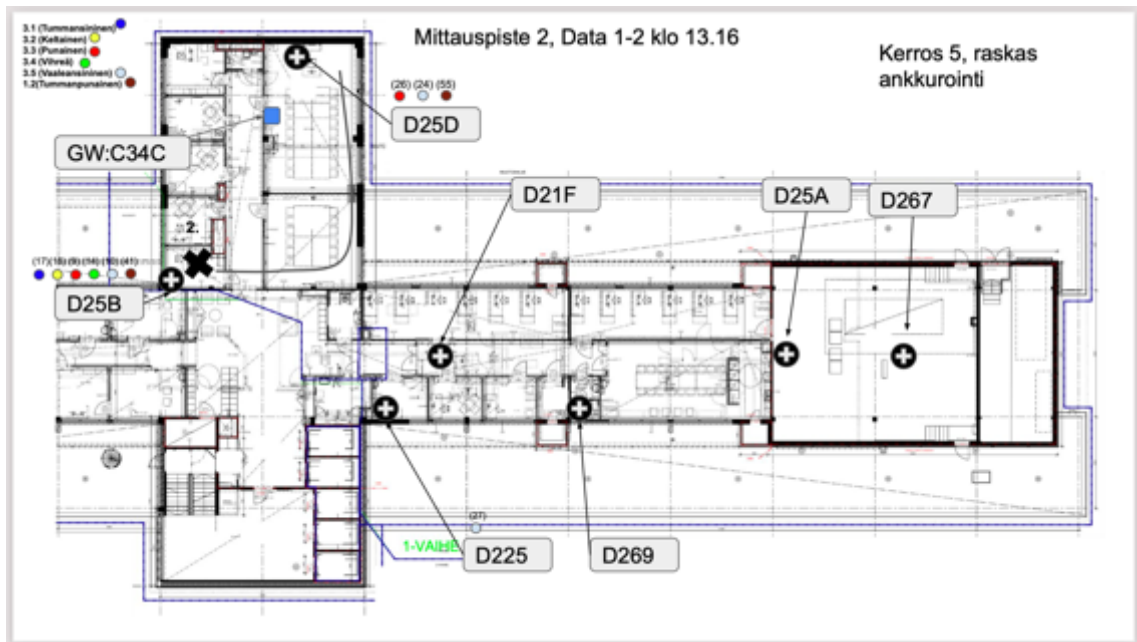


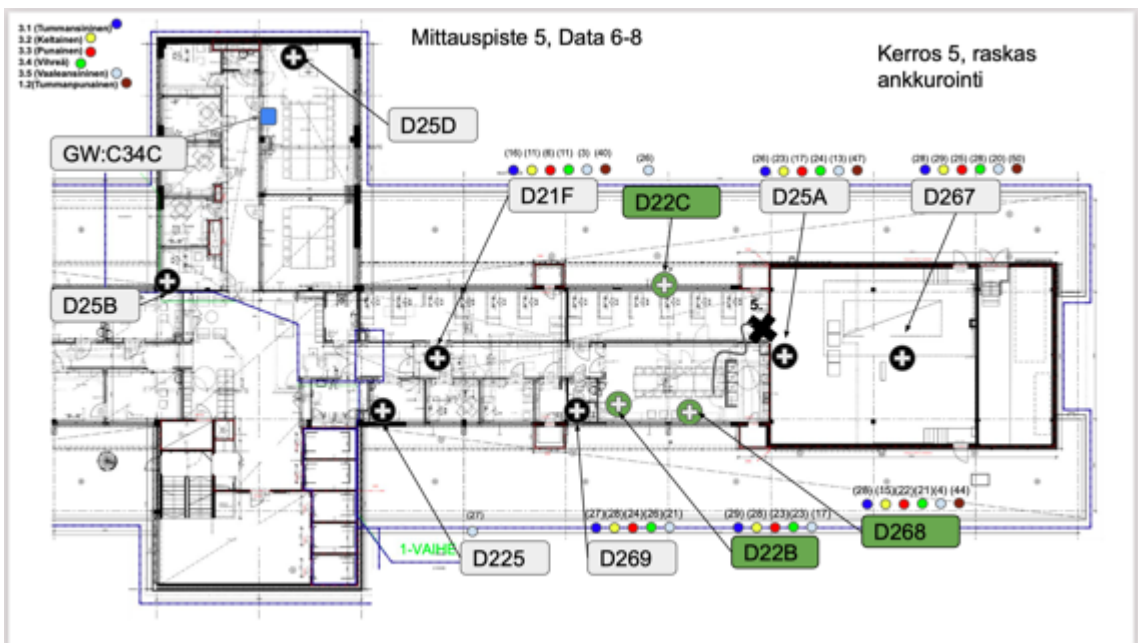
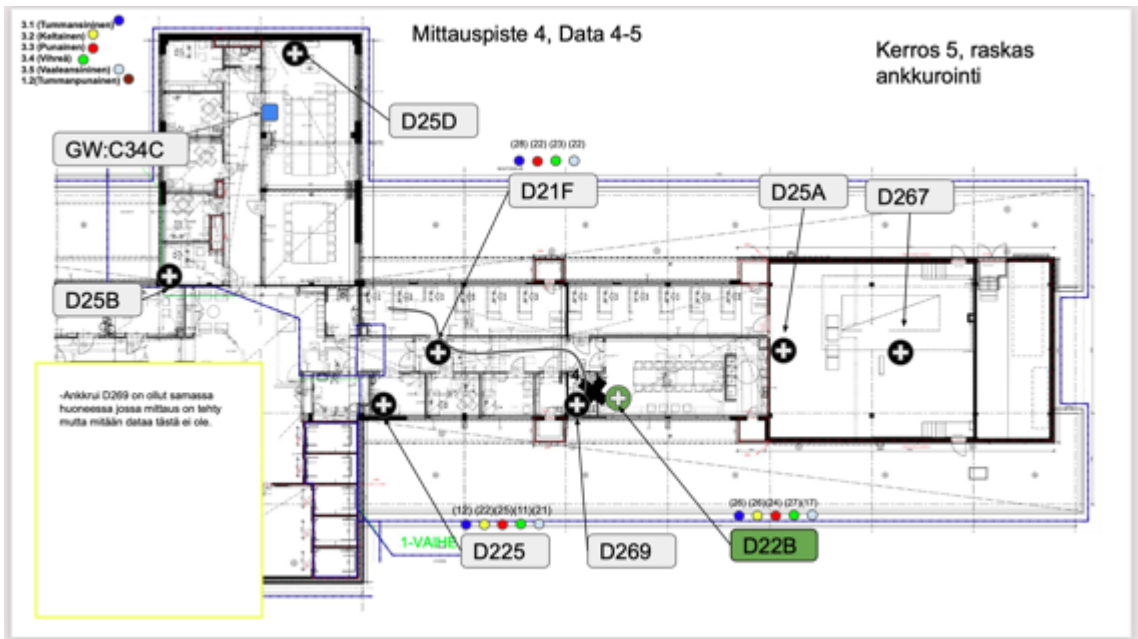




Viidennen kerroksen raskas ankkurointi







Signaalin kantavuuden testaus rappukäytävässä



