

**MOBIILITEKNOLOGIOIDEN HYÖDYNTÄMINEN
RAKENNUSTEOLLISUUDESSA**

**Harri Hämäläinen, Teemu Vilkko, Teemu Reisbacka,
Tommi Kallonen, Ari Happonen, Jouni Ikonen ja Jari Porras**

Tutkimusraportti 108
Research Report 108

MOBIILITEKNOLOGIOIDEN HYÖDYNTÄMINEN RAKENNUSTEOLLISUUDESSA

Harri Hämäläinen, Teemu Vilkko, Teemu Reisbacka,
Tommi Kallonen, Ari Happonen, Jouni Ikonen ja Jari Porras

Lappeenrannan teknillinen yliopisto
Teknistaloudellinen tiedekunta
Tietotekniikan osasto
PL 20
53851 Lappeenranta

ISBN 978-952-214-639-7 (nid.)
ISBN 978-952-214-640-3 (PDF)
ISSN 0783-8069

Lappeenranta 2008



Lappeenrannan teknillinen yliopisto
Tietotekniikan osasto
Tietoliikenneohjelmistojen laitos

Mobiiliteknologioiden hyödyntäminen rakennusteollisuudessa

Mobilding- hankkeen loppuraportti

Lappeenranta 2008



Sisällysluettelo

LYHENNELUETTELO	4
1. JOHDANTO	6
1.1. LÄHTÖKOHTA	6
1.2. TIEDONHALLINNAN TEHOSTAMINEN MOBIILITEKNOLOGIOIDEN AVULLA.....	7
1.3. HANKKEEN TAVOITTEET	8
1.4. AIKAISEMMAT TUTKIMUKSET	8
2. MOBILDING-JÄRJESTELMÄN ARKKITEHTUURI.....	9
2.1. KESKITETTY TIEDONVAIHTO- JA LAADUNVARMISTUSJÄRJESTELMÄ	9
2.1.1. Rajapinnat tiedon hallintaan	10
2.1.2. Rakennustiedon tuominen ulkoisista järjestelmistä	11
2.1.3. Elementtien yhdistäminen tietoihin	12
2.2. SOVELLUKSET LANGATTOMILLE PÄÄTELAITTEILLE.....	12
3. TOTEUTETUN JÄRJESTELMÄN PILOTOINTI	15
3.1. PILOTTI I: RAKENNUSELEMENTTIEN TUNNISTAMINEN RFID-TUNNISTEIDEN AVULLA	15
3.1.1. Toteutus	15
3.1.2. Tulokset	18
3.1.3. Johtopäätökset	21
3.2. PILOTTI II: ELEMENTTIEN MITTATIETOJEN KERUU JA VÄLITYS RAKENNUSPAIKALLE.....	22
3.2.1. Toteutus	23
3.2.2. Tulokset	27
3.2.3. Johtopäätökset	32
3.3. PILOTTI III: ELEMENTTIEN ULKOPAIKANNUS GPS:N AVULLA	32
3.3.1. Toteutus	32
3.3.2. Tulokset	34
3.3.3. Johtopäätökset	36
3.4. JÄRJESTELMÄN PILOTOIMATTOMAT OMINAISUUDET.....	37
3.4.1. Virheraportointi	37
3.4.2. Karttahaku	37
3.4.3. Ontelolaatan dimensiomittausjärjestelmä	38
4. MATKAPUHELIMEN KÄYTTÖ RAKENNUSTEOLLISUUDEN TYÖKALUNA	41
4.1. LAITTEIDEN OMINAISUUDET	41
4.2. SOVELLUKSET.....	41
4.3. EDUT JA HAITAT	42
4.4. MAHDOLLISET KÄYTTÖKOHTEET.....	43
5. KESKITETYN TIEDONHALLINTAJÄRJESTELMÄN ROOLI JA MAHDOLLISUUDET RAKENNUSPROJEKTISSA	44
5.1. TOIMITUSPROSESSIN OSAPUOLET.....	44
5.1.1. Suunnittelu.....	45
5.1.2. Elementtien valmistus.....	45
5.1.3. Elementtien kuljetus	46
5.1.4. Rakennusliike	46
5.2. LIIKETOIMINNALLISIEN MAHDOLLISUUKSIEN SELVITTÄMINEN	46
6. JOHTOPÄÄTÖKSET.....	48

LIITE 1. CODATOR-MITTAUSJÄRJESTELMÄN TULOSTIEDOSTO.....	49
LIITE 2. CODATOR-MITTAUSJÄRJESTELMÄN ESITTELY	50
LIITE 3. YKSITTÄISEN ONTELOLAATAN MITTAUSTULOKSET.....	54

Kuvat

KUVA 1: MOBILDING-TIETOJÄRJESTELMÄ SEKÄ SIIHEN LIITTYVÄT TEKNOLOGIAT JA SOVELLUKSET	9
KUVA 2: MOBILDING-TIETOJÄRJESTELMÄN KERROKSET JA RAJAPINNAT	10
KUVA 3: MATKAPUHELIN JA LANGATTOMAT OHEISLAITTEET	13
KUVA 4: ELEMENTTIEN SARJANUMEROIDEN SIDOSTEN LUOMINEN WWW-KÄYTTÖLIITTYMÄN AVULLA.	17
KUVA 5: ELEMENTTIIN ASENNETTU RFID-TUNNISTE.....	18
KUVA 6: TUNNISTEEN UPOTTAMINEN MÄRKÄÄN BETONIIN.....	18
KUVA 7: METALLIREUNUKSILLA VARUSTETTU PILARI	19
KUVA 8: SEINÄRAKENNE PILARIN VIERESSÄ.	20
KUVA 9: TUNNISTEELLA VARUSTETTUIEN ELEMENTTIEN SIJAINTI RAKENNUKSESSA	21
KUVA 10: TUNNISTEEN UPOTTAMINEN MÄRKÄÄN BETONIIN.....	23
KUVA 11: ELEMENTIT TELINEISIIN VARASTOITUINA	24
KUVA 12: RFID-LUKIJA, MATKAPUHELIN SEKÄ LASERMITTALAITE.....	24
KUVA 13: ELEMENTIN MITTAUS VASTEKAPPALEEN AVULLA.....	25
KUVA 14: KUVARUUTUKAAPPAUKSIA MATKAPUHELINSOVELLUKSEN MITTAUSTOIMINNOSTA	25
KUVA 15: LISTAUS PROJEKTIN VALMISTUNEISTA ELEMENTEISTÄ	26
KUVA 16: ELEMENTIN TARKEMMAT YKSILÖLLISET TIEDOT	27
KUVA 17: VIISTE ELEMENTIN YLÄREUNASSA	29
KUVA 18: ULKOSEINÄELEMENTTIEN RFID-TUNNISTEIDEN SJOITTUMINEN RAKENNUKSESSA.....	31
KUVA 19: JÄRJESTELMÄÄN KUULUVAT LAITTEET	33
KUVA 20: MATKAPUHELINSOVELLUKSEN VARASTOINTI- JA LASTAUSKUITTAUSTOIMINNOT	34
KUVA 21: KARTTAKUVA VARASTOALUEISTA SEKÄ ALUEELLA OLEVIA ELEMENTTIEN SIJAINNIT.	36
KUVA 22: MATKAPUHELIMEN VIRHERAPORTOINTIOMINAISUUS	37
KUVA 23: MATKAPUHELIMEN KARTTAHAKUOMINAISUUS	38
KUVA 24: YKSI MITTAUKSESSA KÄYTETYISTÄ ONTELOLAATOISTA.	39
KUVA 25: ELEMENTTIEN VALMISTUKSEEN JA TOIMITUKSEEN LIITTYVÄT OSAPUOLET	44

Lyhenneluettelo

3G	3rd Generation. Kolmannen sukupolven matkapuhelinjärjestelmä.
AGPS	Assisted Global Positioning System. Paikannusmenetelmä, jossa matkaviestinverkko välittää satelliittien tietoja GPS-puhelimelle paikannuksen nopeuttamiseksi ja parantamiseksi.
ETAP	Elementtien automatisointiprojekti.
GPRS	General Packet Radio Service. Pakettivälitteiseen tiedonsiirtoon perustuva langaton tekniikka.
GPS	Global Positioning System. Yhdysvaltain puolustusministeriön kehittämä satelliittipaikannusjärjestelmä.
HF	High Frequency. 3-30 MHz alueella toimiva taajuusalue. RFID:n yhteydessä HF-tunnisteilla tarkoitetaan 13.56 MHz taajuudella toimivia tunnisteita.
HTTP	Hypertext Transfer Protocol. Internetissä käytettävä tiedonsiirtoprotokolla.
LASER	Light Amplification by Stimulated Emission of Radiation.
NFC	Near Field Communication. Lähietäisyyksillä toimiva langaton viestintäteknologia.
PHP	PHP: Hypertext Preprocessor. Web-palvelinympäristössä suosittu ohjelmointikieli.
RFID	Radio Frequency Identification. Radiotaajuinen etätunnistus.
SOAP	Simple Object Access Protocol. Protokolla, jossa asiakassovellus vaihtaa palvelimen kanssa tietoa käyttäen xml-viestimuotoa.
SQL	Structured Query Language. Standardoitu tietokantojen kyselykieli.
USB	Universal Serial Bus. Tietokoneen liitäntä, johon voidaan kytkeä useita oheislaitteita.
WWW	World-Wide Web. Internet- verkossa toimiva hypertekstiverkko.
XML	eXtended Markup Language. Yleinen rakenteellinen kuvauskieli.

XML-RPC eXtended Markup Language Remote Procedure Call. Protokolla, joka käyttää XML:ää viestien koodaamiseen ja HTTP:ä tiedonsiirtoon.

1. Johdanto

Mobilding-hanke toteutettiin Lappeenrannan teknillisen yliopiston tietoliikennetekniikan laitoksella vuosien 2006 – 2008 aikana. Hankkeen alkuperäisenä tavoitteena oli selvittää, millä menetelmillä voidaan hallita rakennukseen liittyvät tiedot koko sen elinkaaren ajalta alkaen suunnittelusta, jatkuen läpi elementtivalmistuksen ja rakennusvaiheen sekä myöhemmin koko rakennuksen käyttöä. Myöhemmin hankkeessa tehtiin kuitenkin elinkaaren osalta rajaus niin, että tarkasteltava elementtien elinkaari katsotaan alkavaksi rakennuksen suunnittelusta ja tarkasteltava elinkaari päättyy rakennuksen valmistumiseen, kun elementit ovat asennettu niille kuuluville paikoilleen ja jälkitarkastus on suoritettu.

Yksi hankkeen johtavia ajatuksia oli aiemmin Etap II-hankkeen yhteydessä testatun RFID-etätunnistustekniikan (Radio Frequency Identification) hyödyntäminen rakennuselementtien tunnistamiseen. Kiinteänä osana tähän liittyy tiedon kerääminen ja sen hyödyntäminen mobiililaitteiden avulla. Tämä tieto voi olla esimerkiksi elementin dimensio-, paikka tai tilatietoa. Jotta tuotettavaa tietoa pystytään hyödyntämään ja jakamaan hankkeen muille osapuolille, toteutettiin keskitetty Mobilding-tietojärjestelmä, joka sisältää erillisiä rajapintoja myös muihin elementin ja rakennushankkeen elinkaaren aikana käytettäviin järjestelmiin.

1.1. Lähtökohta

Uuden rakennuksen valmistus on pitkä usean osapuolen yhteinen projekti. Projektin onnistuminen vaatii hyvää kommunikaatiota ja yhteistyötä niin rakennuttajan, suunnittelijoiden ja elementtivalmistajien kuin myös alihankkijoiden välillä. Yksittäiseen rakennusprojektiin osallistuvia itsenäisiä ja toisistaan erillisiä yrityksiä voi olla huomattavan suuri määrä. Muutokset tällaisissa projekteissa ovat jokapäiväisiä ja niistä tiedottaminen on ensisijaisen tärkeää. Jopa yksittäiset muutokset ja poikkeamat voivat vaikuttaa moneen eri toimijaan, joiden arvioiminen ja informointi voi yksittäiselle osapuolelle poikkeaman tapahtuessa olla varsin hankalaa. Mikäli tieto muutoksista ei kuitenkaan saavuta kaikkia osapuolia, voi siitä aiheutua kalliita korjaustoimia ja viivästyksiä rakennusaikatauluissa. Tämä ei välttämättä vaikuta ainoastaan asianomaiseen projektiin, vaan voi yksittäisen toimijan tuotannon kautta aiheuttaa kerrannaisvaikutuksia ja vaikuttaa myös muihin rakennusprojekteihin.

Myös rakennusten elinkaari on pitkä, tyypillisesti kymmeniä vuosia, ja siihen vaikuttaa useita osapuolia jo suunnittelusta alkaen. Rakennukseen liittyy myös paljon sellaista tietoa, josta useat osapuolet ovat kiinnostuneita varsinkin suunnittelu- ja rakennusvaiheen aikana, mutta myös myöhemmin valmiin rakennuksen osalta. Tässä vaiheessa korostuvat erityisesti lopputarkastuksen tekeminen, rakennuksen jälkiseuranta ja kunnossapito.

Tiedonhallinnan ja -välityksen kannalta rakennuksen elinkaaren eri vaiheissa on myös eriäviä haasteita. Rakennusvaiheessa korostuu tiedon reaali- ja oikea-aikaisuus, kun vastaavasti rakennusprojektin loppuvaiheella sekä valmistuneen rakennuksen osalta pääpaino on kerätyn tiedon saatavuudella ja sen määrällä sekä sen mahdollisella analysoinnilla. Tiedon saatavuuden haasteet voivat näin ollen vaihdella suurestikin eri vaiheiden välillä.

Rakennushankkeen aikana syntyvä ja kerättävä tieto on valitettavasti usein talletettuna hajautetusti ja usein ei-sähköisessä, muodossa. Sen käyttö ja jakaminen on monellakin tapaa hankalaa ja syntyneen tiedon hyödyntäminen päättyy usein viimeistään rakennuksen valmistumiseen. Rakennusvaiheen aikana tapahtuvat poikkeamat ja virheet sekä toisten osapuolien informointi tapahtuu yleensä joko puhelimitse, faksin tai sähköpostin välillä, lisäten manuaalista työtä. Mobilding-hankkeen yhtenä tavoitteena sähköisen tiedon tuottamisen lisäksi on ollut vähentää manuaalisen työn määrää ja mahdollistaa tiedon välittyminen sitä tarvitseville osapuolille automaattisesti ja tehokkaammin.

1.2. Tiedonhallinnan tehostaminen mobiiliteknologioiden avulla

Nykyaikaisia langattomia päätelaitteita hyödyntämällä voidaan tietoa siirtää reaaliaikaisesti erilaisiin tietojärjestelmiin muiden nähtäville omasta paikasta riippumatta. Näin voidaan tehostaa tiedon tuottamista ja sen hallintaa. Samalla langattomat päätelaitteet tarjoavat myös pääsyn ja näkymän saatavilla olevaan ja keskitetysti hallittavaan informaatioon. Niinpä tiedonvälitystä voidaan tehostaa ympäristöstä ja olosuhteista riippumatta. Tehostaminen aiheutuu pääosin kahdesta asiasta. Ensinnäkin reaaliaikaisuudesta, joka voidaan saavuttaa työntekijöiden käyttämällä mobiililaitteilla, joilla tuotettu tieto siirretään tietojärjestelmään välittömästi sen sijaan, että päivän aikana kerätty tieto tallennetaan keskitetysti päivän päätteeksi. Toiseksi päästään eroon kaksinkertaisesta työstä, kun kirjaaminen voidaan hoitaa yhdellä ja samalla kertaa. Lisäksi usean ihmisen päällekkäistä työtä vaativasta asioiden tilanteen selvittelystä voidaan näin päästä osittain eroon.

Elinkaaritiedon hallintaan liittyy myös kysymys eri toimijoiden asettamista tarpeista tiedolle sekä nykyaikaisen mobiilitekniiikan käytöstä tiedon hyödyntämisessä. Määritellyn elinkaaren osalta pyrittiin hankkeen aikana kartoittamaan oleellisin tieto, johon sekä mobiili- että RFID-teknologioiden käyttö voi tuoda lisää tehokkuutta ja samalla mukanaan muutoksia. Samalla tarkasteltiin myös näiden teknologioiden rajoituksia, jotka omalta osaltaan voivat olla vaikeuttamassa toteutettavien ratkaisujen käyttöönottoa. Tämän kartoitustyön perusteella laadittiin tarkempi suunnitelma sille, minkälainen järjestelmä hankkeessa tulee toteuttaa ja mitä eri toimintoja sen tulee tukea.

1.3. Hankkeen tavoitteet

Hankkeen aikana selvitettäviin asioihin on lukeutunut eri osa-alueiden kartoittaminen. Ensinnäkin on pyritty selvittämään, mitä tietoa eri osapuolet, kuten suunnittelutoimistot, elementtivalmistajat, kuljetusyritykset sekä rakennusyritykset tarvitsevat rakennuksen elinkaaren eri vaiheissa ja kuinka tämä tieto voidaan heille tarjota mahdollisimman helposti riippumatta käyttäjän sijainnista. Toiseksi pyrittiin kartoittamaan hankkeen sisältöön liittyvät nykyiset toimintatavat, jolloin pystyttiin arvioimaan toteutetun järjestelmän vaikutuksia yritysten nykyisiin prosesseihin rakennushankkeen eri vaiheissa.

Hankkeen aikana selvitettyjen menetelmien pohjalta on toteutettu keskitetty tietojärjestelmä. Reaaliaikaisen, ohjaavan ja valvovan järjestelmän avulla, jossa informaatio säilyy ja on jatkuvasti saatavana, on tarkoitus parantaa jäljitettävyyttä ja logistiikan hallintaa kaikkien osapuolten osalta ja tarjota heidän kunkin tarpeisiinsa räätälöity käyttöliittymä tietoon. Tämän seurauksena on tarkoitus pitkällä aikavälillä päästä eroon paikkaavasta työstä, laskea nykyisiä virhekustannukset alas ja saada laatu kohdalleen rakennuksen koko elinkaaren ajalta. Näin voidaan pyrkiä sekä kustannussäästöihin sekä entistä tehokkaampaan rakentamiseen.

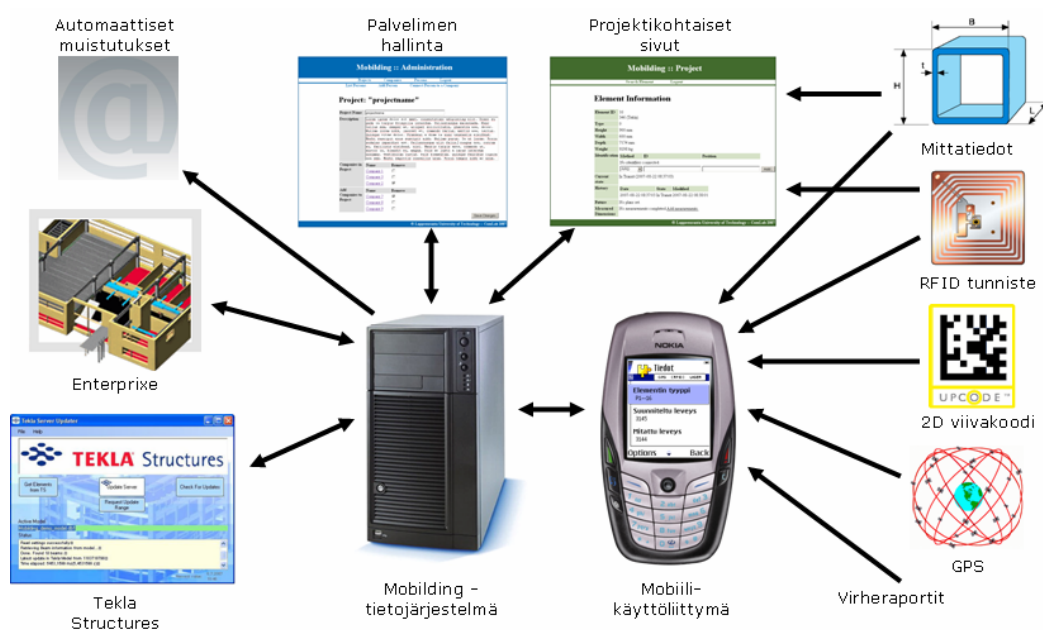
Hankkeen tuloksia ja niiden käytettävyyttä reaali maailman olosuhteissa on pyritty arvioimaan sen aikana toteutettujen pilottien avulla. Pilotit on toteutettu osana hankkeeseen osallistuvien yritysten projekteja.

1.4. Aikaisemmat tutkimukset

Aiemmin toteutetut Etap I ja Etap II -hankkeet loivat pohjan tälle tutkimukselle ja niiden aikana kartutettua kokemusta ja tietoa hyödynnettiin tässä hankkeessa. Molemmat hankkeet liittyvät olennaisilta osiltaan elementtien valmistusprosessiin ja siinä tuotettavaan tietoon. Etap I -tutkimuksessa kehitettiin järjestelmä rakennuselementtien dimensiomittaukseen kameran avulla. Tällä järjestelmällä pystytään automaattisesti varmistamaan elementin mitat ja tämä informaatio voidaan tallentaa sopivaan järjestelmään. Mobilding-hankkeessa toteutettiin mobiilisovellus elementtien dimensiomittaukseen. Tämän sovelluksen pilotointia on tarkasteltu kappaleessa 3.2. Etap II -esiselvityshankkeessa tutkittiin elementtien tietojen siirtoa rakennuspaikalle hyödyntäen RFID-tekniikkaa. RFID-tekniikalla elementit pystytään tunnistamaan koko niiden elinkaaren ajalta ja tunnistetietojen avulla voidaan hakea elementin tiedot (mikäli tiedot ovat vielä saatavissa). Etap II -esitutkimushankkeessa kerättyä kokemusta eri teknologiaratkaisujen toimivuudesta pystyttiin hyödyntämään tämän hankkeen aikana.

2. Mobiling-järjestelmän arkkitehtuuri

Mobiling-hankkeessa toteutettiin rakennusprojektin tiedonvaihto-, analysointi- ja seurantajärjestelmä. Järjestelmä koostuu erillisistä komponenteista, jotka kommunikoivat käyttäen avoimia ja standardinmukaisia rajapintaratkaisuja. Järjestelmän keskeisimmät komponentit ovat rakennushankkeen keskitetty tietojärjestelmä sekä langattomille päätelaitteille toteutetut sovellukset rakennusinformaation tuottamiseen ja hyödyntämiseen. Toteutetun kokonaisuuden arkkitehtuuri ja rajapinnat ovat esitetty kuvassa 1.



Kuva 1: Mobiling-tietojärjestelmä sekä siihen liittyvät teknologiat ja sovellukset

Keskitetty tietojärjestelmä toimii yhdysliikennepisteenä, jonka avulla eri lähteiden tuottama informaatio voidaan yhdistää toisiinsa. Tämä informaatio voi olla automaattisesti eri suunnitteluohjelmistoista standardien rajapintojen kautta siirrettyä tietoa, projektinhallintaan liittyvää WWW-pohjaisesti käsiteltävää tietoa tai mobiililaitteiden avulla kentältä välitettävää hankkeen työntekijöiden tuottamaa tietoa. Näihin komponentteihin tutustutaan tarkemmin seuraavissa kappaleissa.

2.1. Keskitetty tiedonvaihto- ja laadunvarmistusjärjestelmä

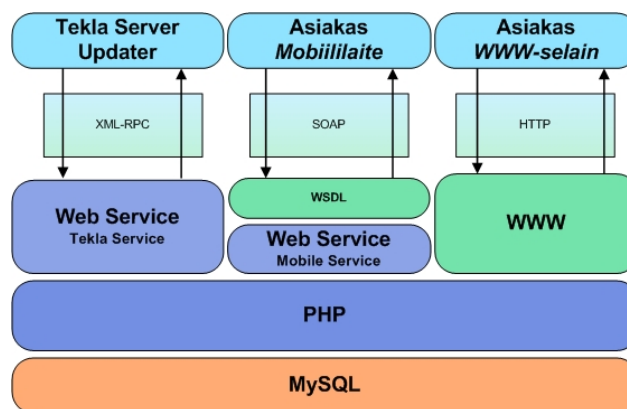
Hankkeessa toteutettu tietojärjestelmä toimii keskitettynä tietovarastona, jonka avulla yhdistetään projektikohtaisesti rakennushankkeiden eri vaiheissa syntyntä tietoa. Kyseinen tieto voidaan jakaa karkeasti kahteen ryhmään. Järjestelmään tallennettavana pohjatietona toimii suunnitelmatieto, joka pitää sisällään valmistettavien elementtien

päätiedot sekä aikataulutiedon tuotteiden eri vaiheiden osalta. Hankkeen aikana järjestelmään tuotetaan toteutumatietaa. Siihen liittyy laatu- ja tilatietoa kerääminen valmistetuista tuotteista, tuotteiden tilatieto sekä mahdollinen tarkempi sijainti. Tätä rakennushankkeen aikana tuotettavaa informaatiota verrataan automaattisesti järjestelmään tallennettuun suunnitelmatietoon, joka mahdollistaa aikataulun mukaisen etenemisen valvonnan ja mahdollisten poikkeamien havaitsemisen. Mikäli havaitaan poikkeamia esimerkiksi elementin dimensioidoissa, välitetään tieto asianosaisille tahoille välittömästi, ilman manuaalisesti tapahtuvaa tiedonvaihtoa organisaatioiden välillä. Jotta tieto havaituista poikkeamista pystytään välittämään suoraan oikeille henkilöille kussakin organisaatiossa, on projektikohtaisesti määritettävä vastuuhenkilöt, joille automaattiset huomautukset ohjataan.

Tiedon tuottamiseen, sen käyttöön ja hallintaan on toteutettu erilaisia rajapintoja. Varsinainen projektinhallinta samoin kuin monimutkaisemmat ja vaativammat tehtävät suoritetaan järjestelmän WWW-käyttöliittymän avulla. Kenttäolosuhteissa järjestelmää käytetään matkapuhelimelle toteutetun ohjelmiston avulla. Näin tietoa voidaan lähettää ja sitä voidaan hakea vaivattomasti niin rakennustyömailla kuin betonielementtitehtaiden työalueillakin, joissa tietoverkkojen ja tietokoneiden saatavuudesta ei ole varmuutta. Matkapuhelin kulkee työntekijöillä vaivattomasti mukana ja siihen voidaan liittää langattomasti lisälaitteita, kuten lasermittari, jolla elementin dimensiot voidaan mitata ja myöhemmin varmistaa tietojärjestelmässä suunnitelmien mukaisiksi.

2.1.1. Rajapinnat tiedon hallintaan

Mobiling-tietojärjestelmään on toteutettu kahdenlaisia rajapintoja: Web Service -rajapinnat ulkopuolisille ohjelmistoille ja WWW-käyttöliittymä palvelimen tietojen hallintaan. Nämä liittymäpinnat ovat esitetty kuvassa 2 yhdessä palvelun muiden toiminnallisten kerrosten kanssa. Rajapinnat toteutettiin käyttäen avoimia standardeja, joilla pyrittiin varmistamaan yhteensopivuus ja mahdollistamaan helppo asiakasohjelmien kehitys.



Kuva 2: Mobiling-tietojärjestelmän kerrokset ja rajapinnat

WWW-käyttöliittymä toimii koko järjestelmän hallintaliittymänä. Sen avulla voidaan hallita sekä järjestelmä- että projektiokohtaisia tietoja. Tyypillisesti sen kautta luodaan projektit ja asetetaan laadunvarmistukseen liittyvät asetukset, kuten mittaustoleranssit ja yhteystiedot automaattisille virheilmoituksille. Käyttöliittymä tarjoaa erilaiset näkymät eri käyttäjäryhmille: rakennustyömaat voivat sen kautta seurata aikataulutusta ja tarvitsemiensa elementtien tilaa, kun taas elementtitehtaille tarjotaan enemmän toimintoja, kuten virheraporttien käsittely.

Web Service -rajapintojen kautta puolestaan voidaan järjestelmään liittää ulkoisia palveluja ja automatisoida tiedonsiirto näiden välillä. Pääasiallisesti hankkeen yhteydessä se on tarkoitettu matkapuhelimen liittymäpinnaksi järjestelmään, mutta se antaa mahdollisuuden myös muiden järjestelmien ja laitteistojen hyödyntämiseen. Sen kautta voidaan siirtää mm. virheraportit, mittatiedot ja elementtien sijainnit mobiilisovelluksesta palvelimelle. Web Service rajapinnan viestiprotokolla on tarkoin määritetty ja sille on yksinkertaista toteuttaa tarvittaessa uusia asiakasohjelmia ja laajentaa sen toiminnallisuutta. Tarkempi kuvaus on saatavissa Teemu Reisbackan diplomityöstä ”*Rakennusprojektin laadunvarmistuksen automatisointi mobiiliteknologialla*”¹.

2.1.2. Rakennustiedon tuominen ulkoisista järjestelmistä

Elementeille suoritettava yksilöllinen laadunvarmistus ja hallittu tietojen kerääminen vaatii, että järjestelmään tuodaan alustavat tiedot rakennussuunnitelmista. Näiden tietojen siirtäminen Mobilding-tietojärjestelmään on pyritty automatisoimaan mahdollisimman pitkälle ja sitä varten on toteutettu standardiratkaisuihin perustuvia rajapintoja, joiden avulla järjestelmä voi jakaa tietoa ulkopuolisten järjestelmien kanssa. Tiedonsiirto-rajapintojen toteutus perustuu Web Services -teknologiaan, joka antaa mahdollisuuden alusta- ja sovellusriippumattomaan tiedonsiirtoon.

Projektissa tietojärjestelmään suunniteltiin ja toteutettiin rajapinta Tekla Structures (v.13.0) -rakennussuunnitteluohjelmistoon, jonka kautta rakennusmallin tietoja voidaan siirtää Mobilding-tietojärjestelmän ja alkuperäisen mallin välillä. Rakennusmallin käsitteleminen tapahtuu projektissa toteutetun ”Tekla Server Updater”-ohjelmiston avulla, joka synkronisoi tiedot rakennusmallin ja Mobilding-tietojärjestelmän välillä. Virtuaalisesta rakennusmallista luetaan kaikkien projektiin liittyvien betonielementtien tiedot, joita ovat mm. yksilöllinen tunnus, elementin päädimensiot sekä aikataulutustiedot, jotka päivitetään rajapinnan kautta Mobilding-tietojärjestelmään. Tietojärjestelmässä elementeille voidaan lisätä uusia tietoja, kuten toteutuneita mitta- tai aikataulutietoja. Ne voidaan päivittää myös takaisin Tekla Structures -rakennusmalliin, jolloin malli sisältää suunnitelmatiedon lisäksi myös toteumatietoa.

Tekla Structures, jolla toteutettua mallia hyödynnettiin ensimmäisen pilotin yhteydessä, on vain yksi lukuisista suunnitteluohjelmistoista, joita käytetään rakennusprojektien

¹ Reisbacka, Teemu. Rakennusprojektin laadunvarmistuksen automatisointi mobiiliteknologialla. Diplomityö. Lappeenrannan teknillinen yliopisto, 2008.

suunnitteluun. Tämän takia on tarve myös muunlaisille ratkaisuille, joiden avulla projektikohtaiset tiedot voidaan siirtää järjestelmään. Projektissa toteutettiin myös mahdollisuus tuoda yksittäisen rakennusprojektin tai tilauksen elementtien tiedot Excel-taulukosta Mobilding-järjestelmään. Elementtitietojen syöttäminen järjestelmään voidaan myös tehdä manuaalisesti WWW-käyttöliittymän avulla.

2.1.3. Elementtien yhdistäminen tietoihin

Tietojärjestelmässä olevat tiedot täytyy pystyä yhdistämään fyysisiin rakennuselementteihin, jotta niitä voidaan hyödyntää toimitusketjun aikana. Hankkeessa elementtien tunnistukseen on käytetty passiivisia RFID-tunnisteita, jotka on valettu elementin sisään. Käytetyt tunnistet ovat sisältäneet yksilöllisen tunnuksen, jonka avulla elementti on linkitetty järjestelmän tietokantaan tallennettuun tietoon. Piloteissa testattuihin RFID-tunnisteisiin ei ole tallennettu tunnuksen lisäksi muuta tietoa.

Käytännössä elementtien yhdistäminen aloitetaan aina rakennussuunnitelman tallentamisella tietojärjestelmään. Kun elementtien tiedot tallennetaan Mobilding-tietojärjestelmään, jokaiselle elementille luodaan yksilöllinen tunnus. Tämän jälkeen WWW-käyttöliittymän avulla RFID-tunniste yhdistetään sitä vastaavaan tunnukseen tietojärjestelmässä. Tässä vaiheissa suunnitelman elementteihin liitetyt RFID-tunnisteet on fyysisesti merkittävä, jotta kukin tunniste voidaan erotella toisistaan ja valaa oikeaan elementtiin.

Riskinä etukäteen tapahtuvassa yhdistämisessä on tunnisteen valaminen väärän elementin sisään. Valuprosessissa tarvitaankin huolellisuutta ja valmiista elementeistä on pilotointivaiheessa syytä tarkastaa, että se on yhdistetty oikeisiin tietoihin. Vaikka tunniste valettaisiin väärään elementin sisään, virhe on tässä vaiheessa korjattavissa tietojärjestelmä osalta nopeasti, kunhan se ensin havaitaan.

Samalla kun elementtiedot tallennetaan Mobilding-tietojärjestelmään ja kullekin luodaan yksilöllinen tunnus, tallennetaan myös yrityksen esim. suunnittelu- tai tuotannonohjausohjelmistossaan käyttämä tunnus. Näin hankkeen aikana tuotettua tietoa voidaan myöhemmin siirtää takaisin yritysten järjestelmiin oikeiden elementtien kohdalle. Tiedonsiirto on näin ollen kaksisuuntaista tarjoten myös mahdollisuuden suunnittelu- tai tuotannonohjausohjelmistojen kehittämiseen niin, että ne hyödyntävät tuotettua tietoa.

2.2. Sovellukset langattomille päätelaitteille

Tapahtuma- ja poikkeamatiedon tuottaminen rakennusprojekteissa tapahtuu usein työmaaolosuhteissa. Tästä johtuen hankkeessa toteutettiin tietojärjestelmään liityntä langattomille päätelaitteille. Tässä hankkeessa on käytetty päätelaitteina matkapuhelimia. Mobiililaitteiden hyödyntäminen mahdollistaa reaaliaikaisen tiedon tuottamisen sekä sen hyödyntämisen työmaaolosuhteissa. Samalla voidaan vähentää kaksinkertaista työtä

kirjaamisen osalta, jolloin työmaan tapahtumat ensin kirjataan käsin esimerkiksi paperille ja viedään myöhemmin koostetusti tietojärjestelmiin. Osa toimitusketjun eri vaiheessa syntyvästä tiedosta ei nykyisin päädy ollenkaan sähköiseen muotoon.

Tietojärjestelmän standardinmukainen Web Service -rajapinta mahdollistaa liittynän tietoihin erilaisilla laitteilla, kuten matkapuhelimilla tai kämmentietokoneilla. Hankkeessa toteutettiin matkapuhelimelle erilaisia sovelluksia betonielementteihin liittyvän tiedon tuottamiseen ja niiden hyödyntämiseen työmaalla. Matkapuhelimen GPRS (General Packet Radio Service) tai 3G (3rd Generation) Internet-yhteyttä hyödyntäen voidaan tuotettu elementtieto päivittää tietojärjestelmään välittömästi ja tarvittava tieto voidaan noutaa tietojärjestelmästä suoraan työmaalle työtehtävän yhteydessä.

Elementtikohtainen tiedon tuottaminen ja käsittely vaatii elementin yksilöllisen tunnistamisen. Tunnistaminen voidaan tehdä joko lukemalla RFID-tunniste, lukemalla elementin viivakoodi tai syöttämällä elementin tunnus käsin. Pilotoiduissa hankkeissa on hyödynnetty matkapuhelimeen liitettävää RFID-lukijaa, jonka avulla tunnisteiden yksilöllinen sarjanumero luetaan. Tämän sarjanumeron avulla fyysinen elementti yhdistetään tietojärjestelmään tallennettuihin tietoihin.

Tiedon tuottamiseen käytetään matkapuhelimen apuna erilaisia langattomia oheislaitteita. Laitteet yhdistetään matkapuhelimeen langattoman Bluetooth-rajapinnan avulla. Näiden laitteiden avulla elementit voidaan tunnistaa, mitata sekä paikantaa ja samalla voidaan automatisoida tiedon tuottamista, vähentäen näin käyttäjältä vaadittavaa tietojen manuaalista syöttöä. Elementtien ulkomittojen tarkastuksessa hyödynnetään laseretäisyysmittaria, joka siirtää mittaustuloksensa suoraan matkapuhelimen ohjelmistoon. Ulkotiloissa elementtien sijainti voidaan ilmoittaa puhelimeen yhdistetyn GPS-laitteen (Global Positioning System) antamien koordinaattien avulla. Tämän lisäksi matkapuhelimella voidaan päivittää elementtien tilatietoa sekä luoda virheraportteja, joissa hyödynnetään kuvaa ja ääntä. Käytetyt oheislaitteet on esitetty kuvassa 3.



Kuva 3: Matkapuhelin ja langattomat oheislaitteet

Osa käytettävistä oheislaitteista voi olla integroituna myös puhelimeen. Muun muassa Nokialla on mallistossaan NFC-tekniologialla (Near Field Communication) varustettuja puhelimia². 13,56 MHz (HF) alueella toimivan ratkaisun haasteena on hankkeen kannalta ollut lyhyt lukuetaisyys, jolloin tunnistusten lukeminen elementtien sisältä on toistaiseksi osoittautunut mahdottomaksi. Monet matkapuhelimet sisältävät myös GPS-toiminnon, jolloin paikantamiseen ei tarvita erillistä GPS-laitetta. AGPS:n (Assisted GPS) avulla voidaan lisäksi paikantamiseen tarvittavaa aikaa huomattavasti lyhentää. Haittapuolena integroitujen laitteiden hyödyntämisessä on usein niiden vaatima teho, joka lyhentää mobiililaitteen toiminta-aikaa. Hankkeessa on lisäksi hyödynnetty matkapuhelimen kameraa virheraportoinnin tehostamiseen.

Aiemmin kuvattujen laitteiden avulla on hankkeessa toteutettu erilaisia mobiilisovelluksia, joiden toimintaa on tarkemmin esitelty kappaleessa 3 ”Toteutetun järjestelmän pilotointi”. Näitä ovat:

- Betonielementtien tunnistaminen
- Betonielementtien dimensiomittaus
- Kohteen paikannus ja seuranta
- Elementtitiedon ja tilasiirtymien päivittäminen
- Virheraportointi

² Nokia 6131 NFC. Tuoteseloste. Saatavilla: <http://www.nokia.fi/A4359410>.

3. Toteutetun järjestelmän pilotointi

Hankkeessa toteutettua tietojärjestelmää ja matkapuhelinsovelluksia testattiin useissa erillisissä piloteissa. Näissä kerättiin kokemuksia toiminnallisuudesta ja käytettävyydestä sekä saatiin työntekijäpalautetta eri vaiheista. Näihin vaiheisiin kuuluivat betonielementtien tunnistaminen RFID-tunnisteiden avulla, elementtien dimensioiden mittaaminen sekä varastopaikkojen tallentaminen. Lisäksi saatiin erilaisia käyttäjäkokemuksia matkapuhelimien käytöstä rakennusteollisuuden apuvälineenä yleisesti.

3.1. Pilotti I: Rakennuselementtien tunnistaminen RFID-tunnisteiden avulla

Ensimmäisessä pilotissa tavoitteena oli tutkia elementtien tunnistamisen asennusprosessia ja sen vaikutuksia eri toimijoihin tehtaassa sisäisesti. Lisäksi tavoitteena oli selvittää, kuinka RFID-tunnisteiden lukeminen pystytetystä rakennuksesta onnistuu sekä verrata elementtien asennuspaikkaa valmiissa rakennuksessa rakennussuunnitelmaan verrattuna. Elementtien valmistaminen ja RFID-tunnisteiden asentaminen suoritettiin Parman Nummelan tehtaalla. Rakennuskohteena pilotissa oli Vuosaaren satama-alueen D-rakennuksen 3-osa.

Pilotin yhteydessä haluttiin testata myös ”Tekla Structures”-ohjelmiston yhteyteen toteutetun rajapinnan toimivuutta, joten pilottikohteeksi valittiin kyseisellä ohjelmistolla suunniteltu rakennus. Koska pilotissa ei tarkoituksella pyritty vaikuttamaan millään muotoa asennusajankäyttöön, oli jo ennen pilotin toteutusta oletettavissa, että tyypiltään keskenään identtiset tuotteet eivät todennäköisesti päädy niille rakennuspiirustuksessa suunniteltuun paikkaan, vaan menevät helposti ristiin keskenään. Mikäli myöhemmin juuri tietty tuote pitää löytää rakennuksesta, joudutaan ratkaisemaan haasteet tuotesidosten hallitsemiseen ja niiden muokkaamiseen vielä asennuksen jälkeisessä vaiheessa. Tätä ongelmaa ei kuitenkaan tarkasteltu sen tarkemmin tämän pilotin puitteissa.

3.1.1. Toteutus

Projektin luominen Mobiling-tietojärjestelmään

Ensimmäinen tehtävä pilottia aloitettaessa oli luoda uusi projekti tietojärjestelmään. Se sisälsi hankkeen perustiedot sekä käyttäjät, joilla on oikeus päästä käsiksi ja muokata hanketta koskevia tietoja. Projektin luominen toteutettiin järjestelmään toteutetun WWW-pohjaisen hallintakäyttöliittymän avulla.

Tuotemallin siirtäminen Mobilding-tietojärjestelmään

Ennen pilottia ”Tekla Structures”-rajapinnan testaaminen oli suoritettu esimerkkimallin avulla, joka ei sisältänyt kovin suurta määrää objekteja (n. 700 kpl). Niinpä pilotin yhteydessä saatiin ensimmäistä kertaa käyttöön oikea rakennusmalli, joka sisälsi kaikkiaan yli 15.000 objekti. Huomattavaa on, että kaikki näistä objekteista ei suinkaan ollut betonielementtejä, vaan sisälsivät myös muita rakennukseen kuuluvia osia. Näin suurella joukolla objekteja jouduttiin toteamaan, että elementtien hakeminen muistiin Tekla Structures -ohjelman yhteyteen toteutetulla rajapinnalla on varsin hidasta. Kaikkiaan tiedon siirtäminen ja päivittäminen mallista Mobilding-palvelimelle kesti yli tunnin. Ainoa mahdollinen tapa, jolla tässä vaiheessa voitiin yrittää nopeuttaa tiedon synkronointia, oli Mobilding-järjestelmän autentikointimekanismin optimointi. Tällä ei kuitenkaan saavutettu merkittävää muutosta nopeuteen. Tämä aiheutti sen, että jouduimme tekemään muutoksia alkuperäiseen synkronointistrategiaan ja lähestymistapaan tiedon jakamisen osalta. Alun perin oli tavoitteena, että kentältä Mobilding-järjestelmään välitettävä informaatio tila- ja mittatiedosta päivitetään reaaliaikaisesti myös Tekla Structures malliin. Rajoitteiden vuoksi strategiaa jouduttiin muuttamaan niin, että päivittäminen tapahtuu eräajoina, esim. kerran vuorokaudessa.

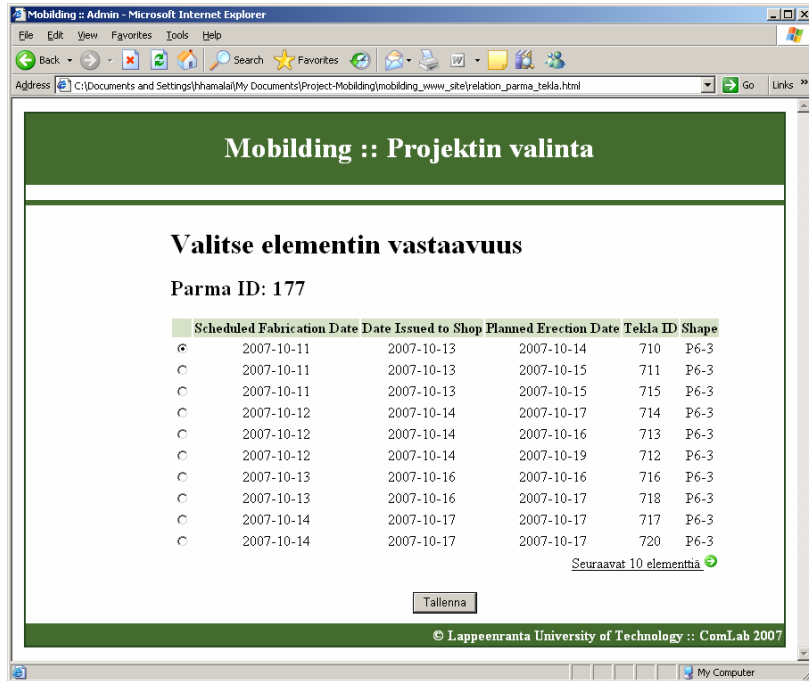
Tuotesidosten luominen RFID-tunnisteiden ja tietojärjestelmän välille

Ennen betonielementtien valmistusta RFID-tunnisteiden sarjanumerot ja rakennuskohteen elementtien tunnisteet oli sidottava toisiinsa. Ennen pilotin toteuttamista tehtaan työntekijöiden kanssa keskusteltiin siitä, mikä on paras tapa luoda tuotesidokset. Vaihtoehtoja olivat:

- Tuotesidoksen luominen valupaikalla ennen valun aloittamista, mobiililaitteen avulla
- Tuotesidoksen luominen toimistolla, jolloin RFID-tunnisteeseen merkitään elementtitunnus

Tässä pilotissa yksinkertaisimmaksi ratkaisuksi katsottiin se, että tunnisteet sidotaan elementteihin keskitetysti jo toimistolla ja niihin kirjoitetaan näkyville elementin yksilöllinen tuotekoodi. Tämän sidoksen luominen toteutettiin Nummelan tehtaalla WWW-pohjaisen käyttöliittymän avulla. RFID-tunnisteet luettiin tietokoneen USB-väylään (Universal Serial Bus) liitetyn RFID-lukijan avulla.

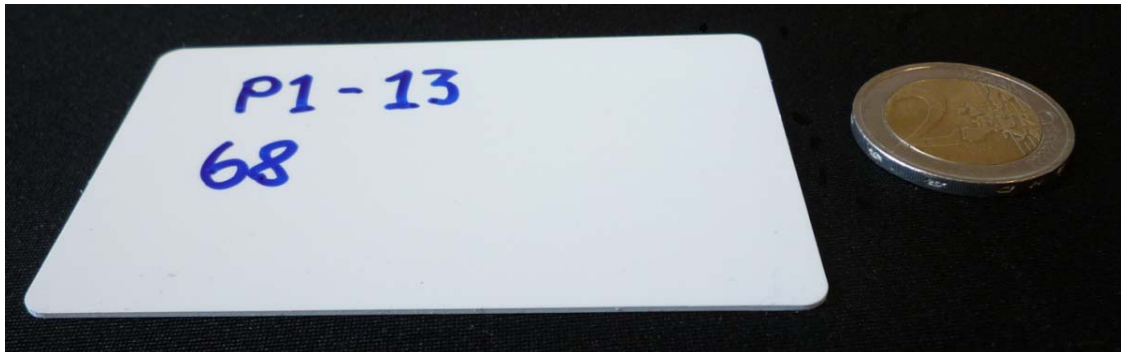
Koska tehdas käytti elementtien tunnistamiseen omassa tuotannossaan omia sarjanumeroita, jotka erosivat ”Tekla Structures”-mallissa olevista sarjanumeroista, tuli myös näiden tunnisteiden väliset sidokset tallentaa tietokantaan. Kuvassa 4 on esitetty valmistettavan elementin sitominen tietojärjestelmässä valmiina olevan tuotemallin elementtiin. Tavoitteena oli, että tiedon syöttäminen on mahdollisimman yksinkertaista. Tuotesidosten luomisen jälkeen tunnisteet toimitettiin tehtaalle elementtien valupaikalle.



Kuva 4: Elementtien sarjanumeroiden sidosten luominen WWW-käyttöliittymän avulla.

Elementtien valu

Jotta myöhemmin paikalleen asennettujen pilareiden tunnisteiden luku olisi mahdollista, oli jo aiemmissa testeissä havaittu, että tunnisteiden asennuspaikkaan tulee kiinnittää huomiota ja määrittää se tarkasti. Huomiota ei tule kiinnittää ainoastaan tunnisteiden luettavuuteen erillisestä elementistä, vaan tunnisteiden tulee olla luettavissa myös rakennukseen paikalleen asennetusta elementistä. Tässä pilotissa tunnistetta ei voitu asentaa pilarin pintakerroksen suuntaisesti, kuten aiemmin oli pyritty tekemään, koska epätasaisesta valujäljestä johtuen kyseinen pinta pyritään asentamaan piiloon jäävälle sivulle. Tämä tarkoittaa useissa tapauksissa myös sitä, että RFID-tunnisteiden lukeminen valmiista rakennuksesta estyy. Mikäli tunniste asennettaisiin vastaavasti elementin alapinnalle, tulisi se saada kiinnitetyksi raudoitukseen niin, että se pysyisi paikallaan pohjakerroksen suuntaisesti ja lisäksi kestäisi valuvaiheen aikana siihen kohdistuvan betonin painon. Koska käytössämme oli kuvassa 5 esitetty luottokortin kokoinen tunniste, ei se todennäköisesti tulisi kestäämään betonin painoa, vaan repeytyisi irti liitoksestaan. Lisäksi tunnisteeseen jouduttaisiin tekemään muutoksia niin, että se saataisiin kiinnitettyä raudoitukseen. Tästä johtuen kaikkein helpoimmaksi ja toimivaksi asennuskohdaksi tässä pilotissa katsottiin pilarin sivu.



Kuva 5: Elementtiin asennettu RFID-tunniste

Ennen kunkin elementin valamista työntekijät etsivät toimitettujen tunnisteiden seasta kuhunkin elementtiin valettavan tunnisteiden erikseen. Tunnisteiden asentaminen pilarin sivulle tapahtui painamalla se välittömästi valettuun elementtiin. Näin ollen se saatiin asetettua oikealle kohdalle, eikä vaaraa tunnisteiden tuhoutumisesta tai siirtymisestä liikkuvan betonin aiheuttaman paineen takia ollut. Tunnisteet asennettiin enimmillään 3 cm etäisyydelle pilarin pintakerroksesta. Koska osa pilareista asennettaisiin, että osa sen alareunasta jäi maan alle, valittiin asennuskorkeudeksi n. 2 metriä pilarin alareunasta. Tunnisteiden asentaminen elementtiin on esitetty kuvassa 6.



Kuva 6: Tunnisteiden upottaminen märkään betoniin

3.1.2. Tulokset

Tunnisteiden tallentaminen järjestelmään

Pääpaino suunnittelussa oli kiinnitetty mahdollisimman yksinkertaiseen ja käytettävään sovellukseen. Työntekijöiltä saatu palaute oli tämän osalta positiivista, sillä käyttöliittymä koettiin yksinkertaisena ja helppona käyttää. Tunnisteiden lukemisen sekä merkitsemisen ja

elementtien välisen tuotesidoksen muodostaminen Tekla Structures mallinnusohjelmiston elementteihin vei aikaa keskimäärin alle 2 minuuttia elementtiä kohden. Tunnisteiden syöttäminen tapahtui kahdessa erässä ja siihen käytetty kokonaisaika arvioitiin olleen noin 60 minuuttia. Käyttöliittymän opetteluun käytetty aika arvioitiin 10 minuutiksi.

Käyttöliittymän ominaisuuksia arvioitaessa erittäin hyväksi arvioitiin järjestelmän tehokkuus, eli tietojen syöttämisen nopeus. Opittavuus, helppokäyttöisyys, muistettavuus, miellyttävyys, suorituskyky, ymmärrettävyys, opastus, johdonmukaisuus, yleinen käytettävyys sekä käyttöohjeet miellettiin melko hyväksi. Kelvollisen arvosanan sai ominaisuus, jolla arvioitiin tietojen syötössä tapahtuneita virheitä.

Yleisenä kommenttina käyttöliittymästä todettiin, että se on helppo oppia ja käyttää. Sattuneita virhetilanteita tiedonsyötössä aiheutti lukijalaite, joka tunnistetta lukiessa lähetti sarjanumeron kahteen kertaan. Järjestelmän käyttölogiikkaan ei ehdotettu muutoksia, vaan sitä pidettiin yksinkertaisena, mutta silti toimivana. Suurienkaan tunnistemäärien syöttämisen ei arvioitu olevan liian työlästä, koska tiedon tallentaminen onnistuu nopeasti. Kehitysehdotuksena käyttöliittymään toivottiin tulostettavaa listaa syötetyistä elementeistä.

Elementtien valaminen

Pilotin yhteydessä valettiin yhteensä 36 pilarielementtiä. Muutaman elementin yhteydessä tunnisteiden asentaminen pilarin reunalle osoittautui hankalaksi palkkiin liitettävistä metallisista reunoista johtuen, jotka voidaan havaita kuvasta 7. Koska metallin aiheuttamat heijastukset sähkömagneettikenttään ovat suuret aiheuttaen ongelmia tunnisteiden luettavuuteen, asennettiin tunniste näissä tapauksissa valun yläpinnan suuntaisesti. Myöhemmin lukutesteissä voitiin havaita, että näin asennetut tunnisteet toimivat ongelmitta.



Kuva 7: Metallireunuksilla varustettu pilari

Tunnisteiden asentaminen elementtiin vei työntekijöiltä keskimäärin 5 minuuttia aikaa. Tämä pitää sisällään oikean, merkityn, tunnisteiden valitsemisen ja noutamisen elementtiin, sen asentamisen paikalleen ja valupinnan tasoittamisen tämän jälkeen. Käytetty aika vaikuttaa suhteellisen suurelta, joten oletettavasti asennusprosessia voidaan työntekijöille kertyvän kokemuksen ja tarkemman suunnittelun avulla tehostaa nykyisestä. Asentamisen opetteluun arvioitiin kuluneen noin 20 minuuttia ja se koettiin melko helpoksi tehtäväksi.

Asennuksessa havaittuja virheitä oli muutaman tunnisteiden unohtuminen, ja tämän todettiin olevan mahdotonta korjata jälkikäteen. Tunnisteiden asennuksen koettiin aiheuttavan valuvaiheessa ylimääräistä työtä sekä muistettavia asioita, ja tunnisteiden arvioitiin väistämättä sekoittuvan keskenään tai unohtuvan kokonaan. Ratkaisuksi tähän ongelmaan ehdotettiin tunnisteiden sitomista elementin raudoituksiin tai erilliseen tunnistelappuun. Kokonaisuutta tarkastellen tämä ei kuitenkaan vähentäisi työmäärää, vaan siirtäisi ainoastaan sitä toiseen vaiheeseen. Tunnisteet myös altistuisivat vaurioille nykyistä enemmän ja pilotissa käytetyt tunnisteet vaatisivat erillisen kiinnitysmekanismin tätä varten.

Tunnisteiden lukeminen elementeistä

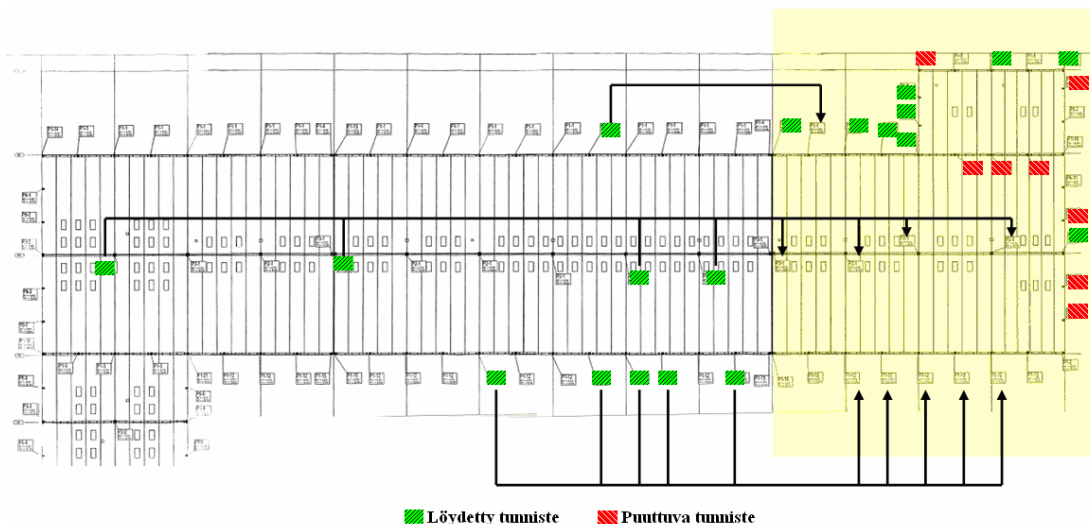
Tunnisteiden asentamisen ja elementtien valamisen jälkeen niitä ei erikseen luettu elementtitehtaalla, vaan lukumittaukset tehtiin rakennustyömaalla elementtien asennuksen jälkeen. Mittaukset suoritettiin kannettavan tietokoneen ja USB-liitäntäisen RFID-käsilukijan avulla. Tässä vaiheessa tietoa ei enää siirretty järjestelmään, vaan lukeminen tapahtui ainoastaan, jotta pystyttiin kontrolloimaan asennettujen tunnisteiden toimivuus.



Kuva 8: Seinärakenne pilarin vieressä.

Lopulta järjestelmään tallennetusta 36 tunnisteesta 19 kpl löydettiin rakennusalueelta asennettuina. Alun perin tunnisteista 8 oli unohdettu asentaa elementtitehtaalla. Yhdeksän jäljelle jääneen tunnisteiden kohdalla voidaan epäonnistuneen lukutapahtuman olettaa johtuvan muista rakenteista, jotka estivät lukijan asettamisen riittävän lähelle tunnistetta. Esimerkki lukutapahtuman estävästä seinärakenteesta on esitetty kuvassa 8.

Kuvassa 9 on esitetty RFID-tunnisteilla varustettujen elementtien lopullinen sijainti rakennuksessa. Piirustuksen oikeanpuoleisessa osassa on eroteltu vaihe 3, jonne tunnistettavat elementit olivat alun perin tarkoitettu. Koska rakennuksessa käytettävistä pilareista osa oli keskenään identtisiä eikä itse asennusprosessia muokattu, löydettiin osa tunnistettavista elementeistä rakennuksen muista osista. Vihreällä värillä on merkitty elementit, joista tunniste löytyi ja punaisella värillä elementit, joista oletettavasti tunniste puuttui. Nuolilla on esitetty muista vaiheista löytyneiden pilarien suunniteltu asennuspaikka. Tämän lisäksi osa vaiheen pilareista on ilman minkäänlaista merkintää. Näitä elementtejä emme päässeet lukemaan tunnisteiden kohdalta.



Kuva 9: Tunnisteella varustettujen elementtien sijainti rakennuksessa.

3.1.3. Johtopäätökset

Tunnisteiden asentaminen

Kuten pilotin tulokset osoittavat, RFID-tunnisteiden käyttöönotto tuo lisää tehtäviä useaan eri vaiheeseen jo elementtien valmistuksen aikana. Tunnisteiden asennus elementteihin valun loppuvaiheessa on yksinkertainen prosessi, mutta asentajalta vaaditaan huolellisuutta, jotta elementtiin upotetaan oikea tunniste. Jotta tunnisteet ovat myöhemmin löydettävissä myös valmiista rakennuksesta, on tunnisteiden asennuskohdan määrittäminen otettava huomioon jo suunnitelmaa tehtäessä. Näin ollen voidaan välttyä tilanteelta, että tunniste on asennettu sellaiseen paikkaan, esim. ulkoseinän puolelle tai

liitoskohtaan, josta sitä ei myöhemmin ole mahdollista päästä lukemaan. Kuitenkin, tunnisteiden etsimisen kannalta on myös tärkeää, että on olemassa tarkoin määritellyt paikat, joista tunnistetta etsitään. HF-tunnisteiden lukuetaisyys betoniin valettuna on vain muutamia senttimetrejä, joten suuren seinän läpikäyminen vaatii aikaa, mikäli tunnisteiden asennuspaikka ei ole tiedossa.

Tunnisteiden asennus sitomalla se elementin raudoituksiin ennen valua vähentäisi valuvaiheessa vaadittavaa työtä, mutta käytännössä työ ainoastaan siirtyy toiseen tuotantoprosessin vaiheeseen ja samalla pikemminkin lisääntyy, koska tunnisteiden tukeva kiinnittäminen on haastavaa. Varsinaisen tunnisteiden asennuksen lisäksi täytyy jo ennen elementtituotannon aloittamista luoda Mobiling-tietojärjestelmään uusi projekti, tuoda hankkeen elementtien tiedot, lisätä RFID-tunnisteiden tiedot ja sijoittaa ne elementtien tunnuksiin, merkitä asennettavat tunnisteet, sekä määrittää tunnisteiden asennuskohta elementeissä.

Vaikutukset rakennusprosessiin

Suuremmassa projektissa, jossa kaikki rakennukseen toimitettavat elementit on varustettu RFID-tunnisteella, ei elementtien sekaantuminen ole tunnisteiden etsimisen kannalta yhtä suuri haaste kuin tässä pilotissa. Tällöin rakennuksen jokaisessa elementissä voidaan olettaa olevan tunnistetta sisältävää elementtiä tarvitse etsiä muualta rakennuksesta samanlaisten elementtien joukosta. Joka tapauksessa tällöin toteutuneiden asennuspaikkojen varmistaminen ja poikkeamien tuominen tietojärjestelmään on tärkeä vaihe kokonaisuutta tarkastellessa, mikäli myöhemmin on tarve saada yksilöllinen tieto kunkin elementin sijainnista.

Tässä pilotissa useat pilari-elementit päättyivät suunnitelmista poikkeavaan paikkaan rakennuksessa. Mikäli halutaan varmistaa elementtien asentaminen juuri tiettyyn kohtaan, tulee elementtien tunnuksien olla rakennussuunnitelmissa yksilöllisiä. Pelkkä RFID-tunnisteiden käyttö elementeissä ei automaattisesti takaa niiden asentamista juuri suunniteltuun kohtaan, mutta niiden avulla voidaan kuitenkin pystytetyistä rakennuksesta selvittää, ovatko elementit suunnitelluilla paikoillaan, vai ovatko keskenään vaihtokelpoiset elementit vaihtaneet paikkaa asennusvaiheessa.

3.2. Pilotti II: Elementtien mittatietojen keruu ja välitys rakennuspaikalle

Elementtien mittatietojen keruu ja välitys rakennuspaikalle -pilotissa oli tavoitteena tutkia laseretäisyysmittarin hyödyntämistä betonisten rakennuselementtien ulkomittojen jälkitarkastuksessa sekä niiden automatisoitua välittämistä matkapuhelimen avulla tietojärjestelmään. Lisäksi tavoitteena oli selvittää rakennuskohteen rakentajalle koituvaa hyötyä, kun tieto elementtien valmistumisesta ja tarkastetuista mittatiedoista voidaan välittää automaattisesti rakennustyömaalle tai toimistolle WWW-käyttöliittymän avulla. Testi kattoi Lappeenrantaan valmistuneen rivitalon seinäelementit (14 kpl), jotka

tunnistettiin yksilöllisesti RFID-tunnisteiden avulla ja mitattiin Joutsenon Elementin tehtaalla lasermittalaitteen avulla.

3.2.1. Toteutus

Esivalmistelut

Ennen betonielementtien valmistusta rakennuskohteen elementtien tiedot (elementtitunnus, ulkomitat, paino) tallennettiin tietokantaan automatisoidusti tehtaan tuotannonohjaukseen käytettävästä Microsoft Excel -taulukosta. Tämän jälkeen tietokantaan lisättiin yksitellen kuhunkin elementtiin upotettavien RFID-tunnisteiden sarjanumerot, jotka yhdistettiin vastaamaan tiettyä elementtitunnusta. Elementtitunnus kirjoitettiin tussilla luottokortin muotoisen tunnisteeseen pintaan, jotta elementtiä valettaessa siihen osattiin upottaa oikea tunniste. Tämän jälkeen tunnisteet toimitettiin tehtaalle, jossa elementit valettiin.

Elementtien valu

Kun elementin muotti oli täytetty betonilla, RFID-tunniste painettiin betonin pinnan alle kuvan 10 osoittamalla tavalla valun yläpinnan suuntaisesti ennalta sovittuun vakiosijaintiin (sisäseinän puolelle, 120 cm korkeudelle ja 20 cm etäisyydelle vasemmasta reunasta), jonka jälkeen betonin pinta tasoitettiin. Tunnisteeseen sijoituskohta oli valittu siten, että tunnisteeseen lukeminen onnistuu mahdollisimman helposti myös valmistuneessa rakennuksessa.



Kuva 10: Tunnisteeseen upottaminen märkään betoniin

Elementtien mittaus

Elementtien kuivuttua ne varastoitiin pystyasentoon tehtaan sisätiloissa sijaitseviin telineisiin, joissa mittaus suoritettiin (kuva 11). Elementit mitattiin ja kuitattiin tarkastetuiksi kahdessa erässä sen sijaan että jokainen elementti olisi mitattu heti sen valmistuttua. Tämä koettiin tehokkaammaksi ja työntekijöiden kannalta mielekkäämmäksi ja paremmin järjestettäväksi tavaksi toteuttaa mittaus.



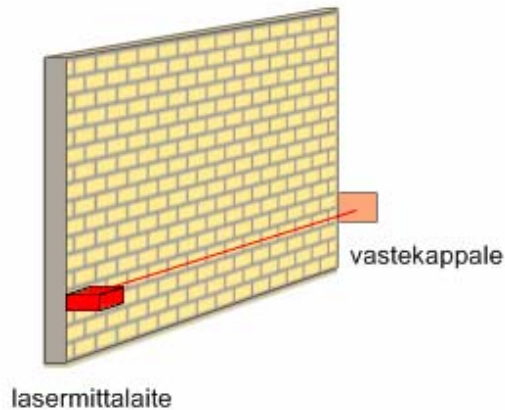
Kuva 11: Elementit telineisiin varastoituina

Mittauksessa käytettiin matkapuhelimelle kehitettyä sovellusta, jolla muodostettiin langattomat Bluetooth-yhteydet sekä RFID-lukijaan että laseretäisyysmittariin (kuva 12). RFID-lukijalla luettiin elementin sisältämä RFID-tunniste, jolloin sen sarjanumero välitettiin puhelimelle. Sovelluksen käyttöliittymä opasti tämän jälkeen käyttäjää lukemaan elementin ulkomitat yksi kerrallaan. Lasermittalaitteen mittaama etäisyys välittyi automaattisesti puhelimeen, joka tallensi mittaustuloksen ja opasti lukemaan seuraavan mitan. Puhelimen sovellus mahdollisti elementin leveyden, korkeuden, paksuuden sekä ristimitan mittaamisen. Tässä testissä ristimita jätettiin kuitenkin mittaamatta.



Kuva 12: RFID-lukija, matkapuhelin sekä lasermittalaite

Mittalaitteen apuna käytettiin paksusta vanerista valmistettua vastekappaletta. Vastekappale sijoitettiin elementin reunaan vasten siten, että se oli kohtisuorassa mitattavaan sivuun nähden, jolloin lasersäde voitiin kohdistaa siihen ja etäisyys saatiin mitattua (kuva 13). Mittaukset suoritettiin kahden hengen voimin, joista toinen piti vastekappaletta paikallaan toisen käsitellessä laseretäisyysmittaria.



Kuva 13: Elementin mittaus vastekappaleen avulla

Kun elementin kaikki sivut saatiin mitattua, mittatiedot ja luetun RFID-tunnisteen sarjanumero lähetettiin puhelimen internetyhteyden (GPRS tai 3G) kautta tietokantapalvelimelle. Palvelimella verrattiin mitattuja etäisyyksiä sinne aikaisemmin tallennettuihin suunniteltuihin mittatietoihin. Palvelin vastasi paluuviestillä, jossa ilmoitettiin mittatietojen lähetyksen onnistumisesta ja tarvittaessa varoitettiin, mikäli mittaustulokset ylittivät sallitut toleranssirajat. Kahden mittauserän välissä matkapuhelinsovellusta päivitettiin niin, että elementin suunnitellut mittatiedot noudettiin tietokannasta ja esitettiin käyttäjälle jo ennen mittauksen aloittamista. Tällöin voitiin myös kesken mittauksen nähdä suunnitelmista poikkeavat mittaustulokset ja tarvittaessa suorittaa mittaus uudelleen ennen mittatietojen lähettämistä järjestelmään. Kuvassa 14 on esitetty kuvaruutukaappauksia matkapuhelinsovelluksen mittaustoiminnosta.



Kuva 14: Kuvaruutukaappauksia matkapuhelinsovelluksen mittaustoiminnosta

Seuranta rakennustyömaalla

Rakennuskohteen urakoitsijalla oli käytävissä tunnuksia WWW-käyttöliittymään, josta voitiin rakennustyömaalla tai toimistolla seurata elementtien valmistumista ja toteutuneita mittatietoja (kuva 15). Kun elementti oli mitattu tehtaalla ja mittatiedot lähetetty tietojärjestelmään, sen tilatieto tietokannassa päivittyi vastaamaan valmistunutta ja tarkastettua elementtiä. Tällöin kyseinen elementti voitiin havaita WWW-käyttöliittymässä valmistuneiden elementtien listassa.

Mobilding :: Projektit

Valittu projekti: Huopatehdas

Hallinta	Elementit	Ohjeet	Kirjautu ulos
----------	-----------	--------	---------------

Projektin Huopatehdas elementtien listaus

Tällä sivulla listataan elementit, jotka on merkitty valmistuneeksi. Saat lisätietoja elementeistä painamalla hiirtä niiden kohdalla.

[Hae](#) | [Tallenna Excel tiedostona](#)

Tunnus	Projekti	RFID	Tila	Mittaukset
R-101	Huopatehdas	E0040100074A66F8	Valmis, tehtaalla	Mittauksissa huomautettavaa
R-102	Huopatehdas	E0040100074A66F0	Valmis, tehtaalla	Mittauksissa huomautettavaa
R-103	Huopatehdas	E0040100074A3B6D	Valmis, tehtaalla	Mittauksissa huomautettavaa
R-104	Huopatehdas	E0040100074A0B5A	Valmis, tehtaalla	Mittauksissa huomautettavaa
R-106	Huopatehdas	E0040100074A2C28	Valmis, tehtaalla	Mittaukset kunnossa
R-107	Huopatehdas	E0040100074A798C	Valmis, tehtaalla	Mittauksissa huomautettavaa
R-108	Huopatehdas	E0040100074A7994	Valmis, tehtaalla	Mittaukset kunnossa
S-101	Huopatehdas	E0040100074A3B6F	Valmis, tehtaalla	Mittaukset kunnossa
S-102	Huopatehdas	E0040100074A6741	Valmis, tehtaalla	Mittaukset kunnossa
S-103	Huopatehdas	E0040100074A6700	Valmis, tehtaalla	Mittaukset kunnossa
S-104	Huopatehdas	E0040100074A3CF6	Valmis, tehtaalla	Mittaukset kunnossa
S-105	Huopatehdas	E0040100074A6233	Valmis, tehtaalla	Mittaukset kunnossa
S-106	Huopatehdas	E0040100074A3D06	Valmis, tehtaalla	Mittaukset kunnossa

© Lappeenranta University of Technology :: ComLab 2007

Kuva 15: Listaus projektin valmistuneista elementeistä

Valmistuneista elementeistä voitiin tarkastella tarkkoja mittaustuloksia ja niiden poikkeamia suunnitelluista mitoista. Kuvassa 16 on esitetty yksittäiseen elementtiin liittyvät tarkemmat tiedot. Se sisältää elementin tunnistamiseen käytettäviä tunnisteita, suunnitellut sekä toteutuneet mitat sekä niiden erotuksen sekä elementin tilahistorian. Mikäli elementti sisältää tämän lisäksi suunniteltuja päivämääriä esimerkiksi asennuksen osalta tai elementissä on havaittu virhe, on kaikki tieto saatavilla koostetusti tästä näkymästä.

Mobilding :: Projektit			
Valittu projekti: Huopatehdas			
Hallinta	Elementit	Ohjeet	Kirjautu ulos
Elementin R-107 tiedot.			
Elementin tiedot			
	Mallin tiedot	Mitatut tiedot	
Mobilding Id	15243		
Yrityksen Id	R-107		
Tyyppi	R-107		
Päätyyppi	Seinät		
Tämänhetkinen tila	Valmis, tehtaalla		
Korkeus (height)	2985	2975 (-10)	
Leveys (width)	5540	5534 (-6)	
Paksuus (depth)	335	335	
Paino	4400		
Elementin tunnistet			
Tunnisteen tyyppi	ID	Sijainti elementissä	
RFID	E0040100074A798C		
Elementin Historia			
Tilan Päiväys	Tila	Muutos kirjattu järjestelmään	
2008-01-30 12:36:59	Valmis, tehtaalla	2008-01-30 12:36:59	
2008-01-08 12:30:47	Odottaa valmistamista	2008-01-08 12:30:47	
Elementin mittaustiedot			
Korkeus (height)	Leveys (width)	Paksuus (depth)	Kirjattu järjestelmään
2975	5534	335	2008-01-30 12:36:59

© Lappeenranta University of Technology - ComLab 2007

Kuva 16: Elementin tarkemmat yksilölliset tiedot

3.2.2. Tulokset

Elementtien valu

RFID-tunnisteita elementteihin sijoittaessa ja niitä mitattaessa havaittiin muutamia virhetilanteita ja ongelmia. Kahden elementin tunnistet sekoittuivat tehtaalla keskenään ja ne upotettiin väärin elementteihin, joten myöhemmin tietokantaan tallennetut tiedot eivät kummankaan elementin osalta pitäneet paikkaansa. Virhe havaittiin jälkimmäistä elementtiä valettaessa ja voitiin todeta myös lukemalla elementtien tunnistet ja noutamalla niitä vastaavat tiedot tietokannasta. Mikäli RFID-tunnistet liitetään tiettyyn elementtiin jo etukäteen toimistolla, eikä vasta valun jälkeen tehtaalla, on aina mahdollista että tunnistet joutuvat väärin elementteihin. Tällaisia tilanteita varten on kehitettävä toiminto WWW-käyttöliittymään tai matkapuhelimeen, jonka avulla tilanne voidaan korjata ja vaihtaa tunniste vastaamaan tietokannassa toista elementtitunnusta.

Vaihtoehtoinen ratkaisu on tunnistetiden sarjanumeroiden lisäys tietokantaan ja yhdistäminen tiettyyn elementtitunnukseen vasta elementteihin valun jälkeen. Tällöin

tulisi kehittää matkapuhelinsovellukseen uusi toiminto, jolla valmiin elementin tunnisteiden lukemisen jälkeen se voidaan liittää oikeaan elementtitunnukseen. Tehtaan työntekijöiltä saadun palautteen mukaan helpoin tapa tunnisteiden oikeisiin elementteihin yhdistämiseen on niiden syöttäminen tietokantaan etukäteen ja elementtitunnusten merkitseminen tunnisteisiin selkeästi ennen niiden toimitusta valupaikalle. Tällöin tarvitaan vielä huolellisuutta tunnisteita elementteihin asennettaessa, jotta vältetään sekaannuksilta.

RFID-tunnisteiden upottamista elementteihin valun loppuvaiheessa pidettiin tehtaalla yksinkertaisimpana ja nopeimpana menetelmänä. Yhden tunnisteiden asennukseen kuluva aika arvioitiin noin yhdeksi minuutiksi ja asennuksen opetteluun vaadittiin kokonaisuudessaan kahden minuutin verran aikaa. Aiemmassa pilotissa saatua ehdotusta tunnisteiden sitomisesta elementin raudoituksiin ennen valua arvioitiin huomattavasti hankalammaksi ja hitaammaksi. Tunnisteiden upottamisen tuomaa lisätyötä pidettiin vähäisenä, mutta sen sijaan valmiiden elementtien mittausta pidettiin jo vaativampana toimenpiteenä, joka vaatii useimmiten kahden työntekijän yhtäaikaista työskentelyä.

Elementtien mittaus

Pilotissa elementit mitattiin useamman kappaleen erissä sen jälkeen kun ne oli jo siirretty varastoon. Tästä johtuen mitattavaksi tarkoitetuista elementeistä yhden mittausta ei voitu pilotin aikana suorittaa. Elementin molemmille puolille oli varastoitu muita elementtejä, jolloin mitattavan elementin tunnistetta ei päästy lukemaan ja mittauskin oli mahdotonta. Tämä ongelma voidaan mahdollisesti välttää sijoittamalla elementti aina telineeseen reunimmaiseksi ja siten, että se sivu jolle tunniste on sijoitettu, jätetään ulommaiseksi. Tällöin tunniste voidaan lukea vaivatta, ja elementin vieressä on tilaa suorittaa mittaus. Tässä tapauksessa elementit tulisi kuitenkin mitata välittömästi telineeseen sijoituksen jälkeen, ennen seuraavaksi valmistuvan elementin siirtämistä telineeseen. Mikäli elementin sijoittaminen telineeseen ulommaksi ei ole mahdollista, sen mittaus tulisi suorittaa ennen varastoon siirtämistä, joka voi olla haastavaa. Saadussa palautteessa ehdotettiin, että mittausprosessi tulisi joka tapauksessa suorittaa ennen elementtien varastoon siirtämistä, koska varastossa ei normaalisti ole riittävästi tilaa elementtien ympärillä mittauksen suorittamiseen.

Pilotissa yhden elementin mittauksessa havaittiin n. 10 cm poikkeama mitatun ja suunnitellun leveyden välillä. Syytä poikkeamaan etsittäessä havaittiin, että elementin ulko- ja sisäkuoret ovat eri levyiset, ja mittaus oli suoritettu kapeammasta kohdasta, kun vastaavasti tietojärjestelmässä oleva arvo oli näistä leveämpi. Mittaus suoritettiin uudelleen ja mitat lähetettiin tietokantaan. Kun elementti on sijoitettu telineeseen, sen toista päätyä ei helposti voida nähdä, joten tällainen virhe on mahdollinen, mikäli mittauksessa ei olla huolellisia. Elementtien korkeuden mittauksessa saatiin kaikkiaan neljä toleranssirajat ylittävää tulosta. Ainakin osasyynä tähän oli kaikkien elementtien yläreunassa oleva viiste (kuva 17), joka vaikeutti vastekappaleen tarkkaa ja kohtisuoraa sijoitusta.



Kuva 17: Viiste elementin yläreunassa

Testeissä mittauksen apuna käytetty vastekappale oli yksinkertainen vanerikappale, jota yhden henkilön täytyi pidellä elementin reunaa vasten, eikä se pysynyt paikallaan itsekseen. Tästä syystä mittaukset täytyi suorittaa kahden henkilön voimin. Vastekappaletta tulisi kehittää edelleen, jotta mittaus olisi mahdollista suorittaa yksin. Kappaleen tulisi olla sellainen, että se voitaisiin asettaa tarkasti elementin reunaa vasten, jossa se pysyisi itsekseen mittauksen ajan. Lisäetua ja tehokkuutta voitaisiin saada, mikäli vastekappaleen avulla voitaisiin mitata kaksi eri sivua siirtämättä sitä (esimerkiksi leveys ja korkeus).

Valmistumisen ja mittatietojen tarkastuksen seuranta

Web-käyttöliittymää voitiin tarkastella sekä toimistolla että työmaalla, mutta työmaalla järjestelmän käyttö ei ollut onnistunut. Jälkikäteen ongelmaa tutkittaessa todettiin järjestelmän toimivan työmaaltakin käsin, joten todennäköisin syy epäonnistuneeseen yritykseen oli väärin kirjoitettu salasana.

Tärkeimpänä web-käyttöliittymästä tarkasteltavana tietona pidettiin elementtien valmistumisajankohtaa. Elementtien millintarkkoja mittaustuloksia ei pidetty työmaalla kovin tärkeänä tietona. Niin kauan kuin elementtien ulkomitat ovat toleranssien sisällä, poikkeamat voidaan korjata lisäämällä tai vähentämällä elementtien välisen sauman paksuutta. Mikäli kuitenkin elementtien ulkomittojen jälkitarkastuksia suoritetaan, tulisi esimerkiksi seinäelementeistä mitata sisä- ja ulkokuoret erikseen. Elementtien ulkomittoja tärkeämmäksi mittauskohteeksi koettiin erilaisten aukkojen (ikkunat, ovet, sähköpisteet) oikea paikka, koko ja muoto. Kuitenkin järjestelmästä välittyvä tieto siitä,

että kaikki elementit tarkastetaan tehtaalla, koettiin positiivisena, koska sen oletettiin vähentävän työmaalle saapuvia viallisia elementtejä.

Tässä testissä elementeistä mitattiin ulkomitat vain leveimmältä, korkeimmalta ja paksuimmalta kohdalta, jolloin poikkeama vain toisessa kuoressa olisi voinut jäädä huomaamatta, vaikka elementti olisikin läpäissyt mittaussuorituksen. Seinäelementtien mittaukset tulisivat suorittaa erikseen sekä sisä- että ulkokuorille, jolloin myös tietojärjestelmässä tulisi olla tallennettuna suunnitellut mitat molemmille kuorille erikseen. Suurin hyöty tarkoista mittauksista ja niiden tarkemmista tuloksista koitunee kuitenkin elementtitehtaalle, ei niinkään rakennustyömaalle. Virheiden korjaus on nopeampaa, helpompaa ja halvempaa suorittaa tehtaalla kuin työmaalla.

Elementtien todellisen valmistusajankohdan seuranta pidettiin hyvin hyödyllisenä tietona, varsinkin tarkasti aikataulutetuissa projekteissa, joissa elementit voidaan asentaa suoraan kuormasta ilman välivarastointia työmaalla. Tässä pilotissa tieto elementtien valmistumisesta ei välittynyt täysin reaaliajassa (koska elementit mitattiin ja kuitattiin valmistuneiksi erissä eikä heti jokaisen valmistuttua), mutta sen ei koettu olevan ongelmana näin pienessä (ei tarkka aikataulu) rakennuskohteessa.

Suuremmissa ja tarkasti aikataulutetuissa rakennuskohteissa olisi erityisen tärkeää, että tieto valmistuneista elementeistä ilmestyisi web-käyttöliittymään reaaliaikaisesti, mutta tämän testin kaltaisissa kohteissa pienestä viiveestä ei koettu olevan haittaa. Tarkan aikataulun kohteissa myös kuljetuksen lastausajankohta sekä arvioitu saapumisaika työmaalle ovat kiinnostavia tietoja, koska yhden myöhästyneen kuorman vuoksi koko päivän aikataulut voivat mennä sekaisin. Esimerkiksi ontelolaatat asennetaan suoraan kuormasta paikalleen, eikä niitä varastoida työmaalla. Tämä korostaa entisestään aikataulutuksen ja niiden noudattamisen sekä seurannan tärkeyttä.

Elementtien valmistus- ja tarkastusajankohdan lisäksi työmaalla kiinnostaisi myös kuljetuksen aloitusajankohta sekä arvioitu työmaalle saapumisaika. Elementin valun aloitusajankohdasta voitaisiin myös arvioida, onko elementti saanut kuivua tarpeeksi kauan ennen työmaalle lähetystä.

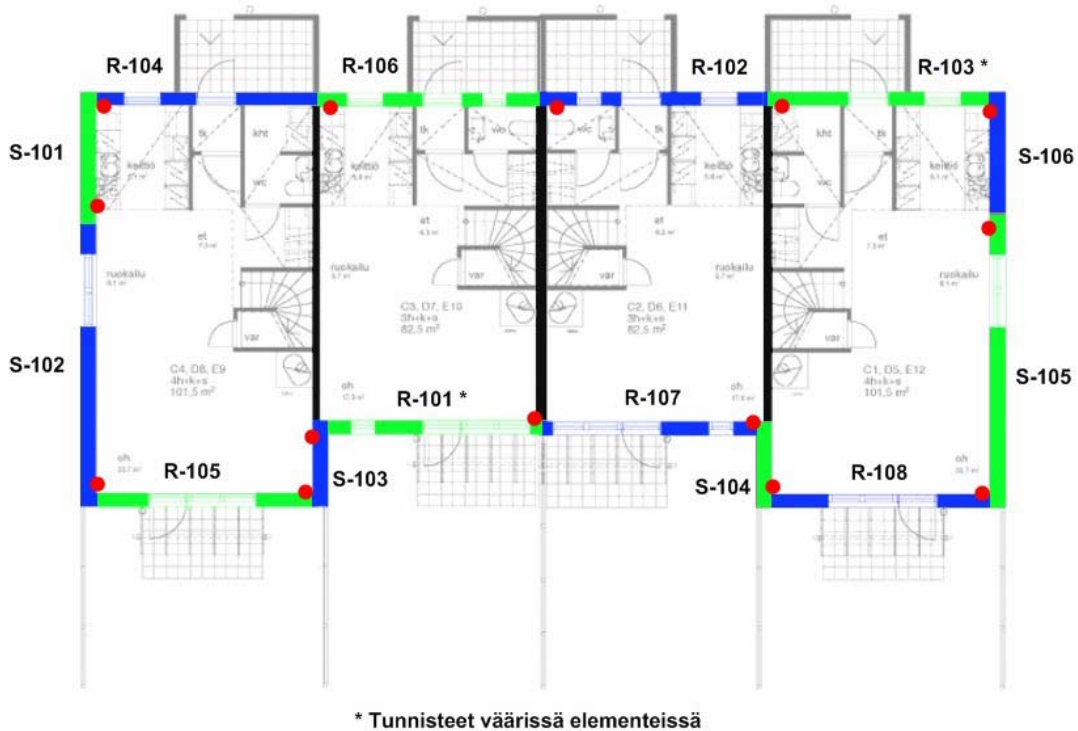
Uutena ominaisuutena web-käyttöliittymään ehdotettiin mahdollisuutta tehdä kuormatilaus, jolloin tilattavat elementit voitaisiin valita valmistuneiden elementtien listasta.. Tässä voisivat toimia apuna rakennuksen pohjapiirustukset, joista voitaisiin hiirellä valita tilattavat elementit, tai ainakin nähdä elementtien tunnuksia jotka sitten valittaisiin listasta. Myös elementtien piirustuksia toivottiin nähtäville web-käyttöliittymään, koska pelkkä elementtitunnus ei suoraan kerro käyttäjälle mitään kyseisestä elementistä ilman piirustuksia. Lisäksi elementtien listauksessa koettiin olevan tarpeellista esittää ainakin usean rakennuksen kohteissa tieto siitä, mihin rakennukseen kukin elementti kuuluu. Elementin millintarkkoja ulkomittoja tärkeämpänä tietona työmaalla pidettiin esimerkiksi ikkunoiden ja sähköpisteiden aukkojen oikeaa sijaintia ja

kokoa. Näitä tietoja olisi helpoin tarkastella graafisessa muodossa, jota varten elementeistä tulisi ottaa kuva, jota voitaisiin vertailla elementin piirustusten kanssa.

Elementtien tunnistaminen pystytetystä rakennuksesta

Pilotin lopuksi tarkastettiin elementtien tunnistaminen RFID:n avulla pystytetyn rakennuksen sisäpuolelta. Testi suoritettiin, kun rakennuksen seinät olivat pystytetty, mutta mitään muita rakenteita ei vielä ollut asennettu sisälle. Testaus suoritettiin kannettavan tietokoneen ja siihen liitetyn RFID-lukijan kanssa lukemalla seinäelementtien tunnisteen sarjanumerot.

Rakennuksen kaikki 14 seinäelementtiä tunnistettiin onnistuneesti. Tunnisteiden lukeminen suoritettiin ”pyyhkäisymenetelmällä”, eli lukijalaite pidettiin aktiivisena samalla kun sillä pyyhkäistiin tunnisteen oletetun sijoituspaikan yli. Koska asennuspaikka oli tarkoin määritetty, tunnistet löytyivät useimmiten nopeasti, parin sekunnin etsimisen jälkeen. Muutaman tunnisteen löytyminen kesti kuitenkin noin 15 sekuntia. Mikäli tunniste ei löydy asennetusta elementistä hyvin pikaisesti, on vaara, että työntekijä tekee oletuksen, ettei tunniste toimi tai sitä ei mahdollisesti ole asennettu. Samoin etsittävä alue tulee olla pinta-alaltaan riittävän pieni, jotta etsiminen voidaan suorittaa tehokkaasti. Kuvassa 18 on esitetty elementtien sijoittuminen rakennuksessa sekä niiden sisältämien RFID-tunnisteiden sijainnit.



Kuva 18: Ulkoseinäelementtien RFID-tunnisteiden sijoittuminen rakennuksessa

3.2.3. Johtopäätökset

Betonielementtien mittaus laseretäisyysmittarilla ja mittatietojen tallentaminen välittömästi tietojärjestelmään sähköisessä muodossa parantaa mittaustarkkuutta ja vähentää kirjoitus- tai näppäilyvirheiden mahdollisuutta tietojen kirjaamisessa. Samalla voitiin tehostaa saatujen tulosten digitalisoimista, kun erilaisten paperilla olevien mittaus- ja tarkastusdokumenttien sijaan tieto on saatavilla ja analysoitavissa myös tietojärjestelmässä. Tämän pilotin tapauksessa mittausprosessin tehokkuus ei suuresti poikennut mittanauhalla mittaamisesta, mutta tehokkuutta voidaan parantaa muun muassa kehittämällä parempi vastekappale laseretäisyysmittarille. Myös elementtien mittauksen suorituspaikka tulee valita siten, että mittaajalla on esteetön pääsy sekä lukemaan elementin tunniste että suorittamaan kaikkien sivujen mittaus.

Pelkkä elementtien tarkistettujen ulkomittojen välitys työmaalle ei juuri tuo lisähyötyä rakentajalle. Sen sijaan mittatietojen mukana välittyvä tieto elementtien valmistumisesta on työmaalla tarpeellinen ja hyödyllinen tieto. Mittausjärjestelmän suurin hyöty kohdistuu elementtitehtaalte, jossa voidaan kerätä mittaustietoja suoraan tietojärjestelmään, sekä korjata havaitut virheet halvemmalla.

Pilotissa kerättiin myös lisäkokemuksia RFID-tunnisteiden asentamisesta elementteihin, ja todettiin ennalta elementtitunnuksin merkittyjen tunnisteiden upottaminen valun loppuvaiheessa olevan yksinkertaisin ja tehokkain tapa. Tällöin kuitenkin on aina mahdollisuus tunnisteiden sekaantumiseen, joten tunnisteiden ja elementtien välisiä sidoksia tulee pystyä muuttamaan jälkikäteen.

3.3. *Pilotti III: Elementtien ulkopaikannus GPS:n avulla*

Kolmannen hankkeessa toteutetun pilotin tavoitteena oli testata betonielementtien ulkovarastopaikkojen määrittämistä GPS-paikantimen sekä näiden tietojen jakamista tietojärjestelmän avulla. Jotkin elementtitehtaat varastoivat työmaille kuljetusta odottavat elementtinsä suurille ulkovarastoalueille. Pienemmillä tehtailla varastointi ja etsiminen eivät juuri aiheuta ongelmia, mutta paikantaminen voi osoittautua hyödylliseksi suurempien varastoalueiden sekä välivarastojen yhteydessä. Tehtaan oma varastoinnista ja lastauksesta vastaava henkilökunta useimmiten tietää missä tietyn rakennuskohteen tietyn tyyppiset elementit sijaitsevat, mutta tässä testissä haluttiin selvittää, miten tieto elementtien sijainnista olisi mahdollista välittää eteenpäin, mikäli kuormien lastauksen suorittaa joku ulkopuolinen, esimerkiksi kuljetusliikkeen työntekijä omatoimisesti.

3.3.1. Toteutus

Toteutetussa testissä yhden rakennuskohteen betonielementteihin upotettiin RFID-tunnisteet, joiden avulla ne voitiin tunnistaa yksilöllisesti. Alun perin tarkoituksena oli asentaa tunnisteet kaikkiin kohteen 40 elementtiin, mutta testin aikataulun pitkeytyessä se

päätettiin keskeyttää, kun noin puolet elementeistä oli valmistettu. Varastoon siirretyt elementit tunnistettiin RFID-lukijan avulla, sijaintitieto saatiin GPS-laitteen avulla ja kerätyt tiedon siirrettiin tietojärjestelmään matkapuhelimen avulla. Rakennustyömaalle lähtevät elementit kuitattiin lastatuiksi kuormausvaiheessa.

Esivalmistelut ja elementtien valu

Ennen elementtivalmistuksen alkua projektin elementtitietokantaan syötettiin käsin elementtien tiedot sekä niihin upotettavien RFID-tunnisteiden sarjanumerot. Kuten aiemmissakin piloteissa, RFID-tunnisteiden pintaan merkittiin tussilla sen elementin tunnus, johon se tuli upottaa. Tehtaan työntekijää opastettiin luomaan varastoalueet web-käyttöliittymän avulla valmiille karttapohjalle. Rajatuille alueille määritettiin tunnukset, joita voitiin myös käyttää varastointipaikan ilmoittamiseen vaihtoehtoisesti GPS-koordinaattien sijaan. Tehtaan työntekijöille opastettiin web-käyttöliittymän sekä matkapuhelimen ja oheislaitteiden käyttö.

Elementtien varastointi, paikannus ja lastaus

Elementtien kuivuttua ne siirrettiin nosturilla tehdasalueen pihalle, jossa ne varastoitiin pystyasennossa telineisiin, ns. ”kamppoihin”. Tällä paikalla elementit kuitattiin varastoiduiksi matkapuhelimen avulla. Matkapuhelimeen oli liitetty Bluetoothilla langattomasti RFID-lukija ja GPS-paikannin (kuva 19). Elementtien tunnistus suoritettiin lukemalla niiden sisällä oleva RFID-tunniste.



Kuva 19: Järjestelmään kuuluvat laitteet

Varastokuitauksen yhteydessä tunnisteiden sarjanumero sekä GPS-paikantimelta saadut koordinaatit lähetettiin tietokantaan käyttäen matkapuhelimen internet-yhteyttä (GPRS tai 3G). Koordinaattien lisäksi tietokantaan tallennettiin varastoalueen tunnus, joka käyttäjän täytyi itse valita listasta. Näin saatiin pilotin myöhemmän arvioinnin kannalta tarpeellista lisäinformaatiota siitä, kuinka hyvin lähetetyt koordinaatit vastasivat määritettyjä

varastoalueita. Mikäli GPS-paikanninta ei haluttu tai jostain syystä voitu käyttää, elementtien varastosijainti voitiin ilmoittaa myös ilman sitä, valitsemalla pelkkä varastoalueen tunnus. Kuvassa 20 on esitetty kuvaruutukaappauksia matkapuhelinsovelluksen varastointi- ja lastauskuittaustoimintojen käyttöliittymästä.



Kuva 20: Matkapuhelinsovelluksen varastointi- ja lastauskuittaustoiminnot

Kun elementtien koordinaatit oli tallennettu tietokantaan, niiden sijainti voitiin selvittää toimistolla web-käyttöliittymän avulla. Käyttöliittymän avulla voitiin listata rakennuskohteen elementit sekä niille ilmoitetut varastopaikkojen tunnukset. Listasta valitsemalla voitiin myös esittää haluttujen elementtien sijainti kartalla. Kartalla esitettiin ainoastaan ne elementit, joiden sijainti oli ilmoitettu GPS-koordinaatteina, ei niitä, joille oli ilmoitettu pelkkä varastoalueen tunnus. Kartta voitiin tulostaa esimerkiksi lähetteen liitteeksi, jolloin sen avulla pystyttiin etsimään oikeita elementtejä varastoalueelta.

Kun elementit lastattiin työmaalle kuljetusta varten, ne kuitattiin lastatuiksi. Lastattava elementti tunnistettiin RFID-lukijan avulla ja lastauskuittaus lähetettiin matkapuhelimella tietojärjestelmään. Tällöin elementtien tilatieto päivittyi tietokantaan ja varastotilanne pysyi ajan tasalla.

3.3.2. Tulokset

Tunnisteiden asennus elementteihin

RFID-tunnisteiden upottamista elementteihin valun loppuvaiheessa pidettiin tehtaalla kohtuullisen helppona toimenpiteenä. Tunnisteiden asennukseen kuluva aika arvioitiin olevan noin yksi minuutti elementtiä kohden ja opetteluun käytettiin noin 15 minuuttia. Tunnisteiden asennus koettiin melko vaivattomaksi ja nopeaksi, mutta asentaja koki sen omalta kohdaltaan ylimääräisenä työnä, koska ei näe niillä saavutettavaa hyötyä.

Johtuen hyvin erimuotoisista elementeistä, sopivan asennuspaikan määrittäminen tunnisteiden asennukselle koettiin myös vaikeana. Poikkeavista asennuskohdista johtuen tunnisteiden lukeminen jälkikäteen voi olla haastavaa. Useimmiten tunnisteiden lukeminen oli kuitenkin

onnistunut hyvin, välillä oikeaa sijaintia oli joutunut hieman etsimään. Tunnisteen upottamista valun jälkeen pidettiin järkevämpänä asennusmenetelmänä kuin raudoituksiin sitomista ennen valua.

Kuittausten suorittaminen matkapuhelimella

Matkapuhelinsovelluksen käytön opettelu koettiin työntekijöiden mielestä helpoksi, mutta sen käyttöä pidettiin tehottomana. Laitteiden käytön opetteluun kuluneeksi ajaksi arvioitiin noin 30 minuuttia, ja käyttöohjeita sekä opastusta pidettiin hyvinä. Elementtien varastointi- ja lastauskuittauksiin kuluva aika arvioitiin olevan noin 2 minuuttia kuittausta kohden. Tämän lisäksi tekniset ongelmat ja puutteet häiritsivät järjestelmän käyttöä.

GPS-paikantimen päälle kytkemisen jälkeen ilmenee aina viive, ennen kuin laite saa satelliiteilta tarpeeksi tietoa laskeakseen sijaintikoordinaattinsa. Elementtitehtaan varastoalueella tämä viive havaittiin olevan noin 3-5 minuutin luokkaa, joten elementtien varastoinnissa kului tämän verran ylimääräistä aikaa. Tämän takia varastointikuittaukset suoritettaisiin mieluummin valitsemalla puhelimella listasta varastopaikan nimi tai muu tunniste. Mikäli peräkkäin varastoidaan useampi elementti, viive häiritsee näistä ainoastaan ensimmäistä tapahtumaa, koska laitetta ei tarvitse sulkea välillä. Myös laitteen kytkeminen päälle riittävän hyvissä ajoin voi auttaa ongelman lieventämisessä. Matkapuhelinverkon avustaman satelliittipaikannuksen (AGPS) avulla ensimmäisen koordinaattitiedon hakemista voidaan nopeuttaa huomattavasti. Joka tapauksessa GPS-paikantimen aiheuttama viive tekee sen käytöstä ongelmallista.

Pilotti toteutettiin talvella, helmi-maaliskuun aikana, jolloin muutamaan otteeseen ulkolämpötila laski -10 °C tuntumaan. Testissä käytetyn RFID-lukijan valmistaja (FEIG Electronic) lupaa sen toimivan 0 °C ... 50 °C lämpötilassa, eikä lukijalaite enää täysin toiminut kovimmilla pakkasilla. Lukijalaitteen toimintahäiriöt ilmenivät siten, että tunnisteiden lukeminen sillä ei enää onnistunut luotettavasti.

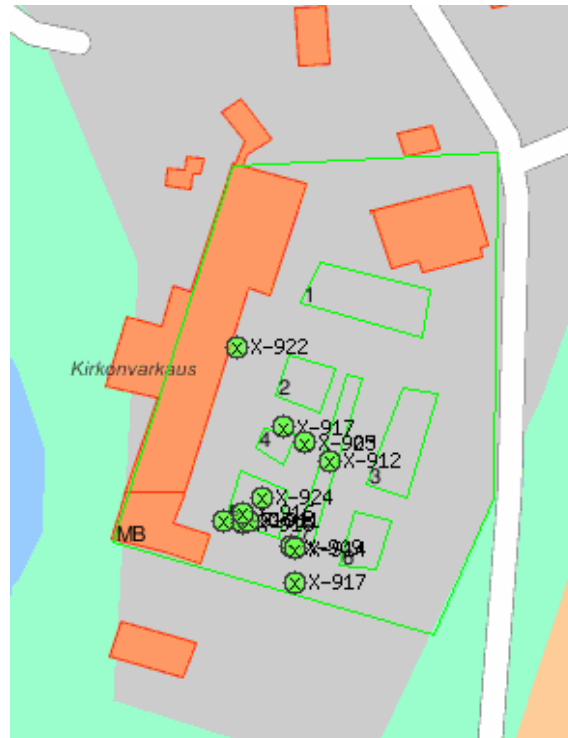
Tehtaalla elementit oli kääritty muoviin ennen niiden siirtämistä ulos pihalle. Kyseinen muovitus häiritsi RFID-tunnisteiden lukemista, ja tunnisteet piti lukea raottamalla muoviva. Ohuen muovin ei pitäisi häiritä RFID-laitteiden toimintaa, ja ongelman perimmäinen syy on vielä avoin.

Monien eri laitteiden käsittely yhtäaikaaisesti koettiin hankalaksi, ja tulevaisuuden tavoitteena nähtiin yksi ainoa laite, joka sisältää kaiken tarvittavan. Matkapuhelinta pidettiin tarkoitukseen sopivana laitteena. Laitteiden toimivuus täytyisi taata kaikissa olosuhteissa, nyt pakkasen oli aiheuttanut ongelmia RFID-lukijalaitteen toiminnalle.

Elementtien paikantaminen

Varastoitujen elementtien sijainti WWW-käyttöliittymän kartalla todettiin vastaavan hyvin elementtien oikeata sijaintia varastoalueella. Sen sijaan järjestelmään toimistolla

syötetyt varastoalueiden rajaukset eivät vastanneet kovin tarkasti todellisia alueita. Kuvassa 21 on esitetty WWW-käyttöliittymästä nähty karttakuva sekä siihen rajatut varastopaikat. Karttaan on merkitty kaikkien pilotissa varastoitujen elementtien sijainti.



Kuva 21: Karttakuva varastoalueista sekä alueella olevien elementtien sijainnit.

3.3.3. Johtopäätökset

Suurimmat ongelmat liittyivät pilotissa käytettyihin matkapuhelimen oheislaitteisiin. Useiden laitteiden käsittely yhtäaikaaisesti on vaikeaa, ja laitteissa havaittiin myös teknisiä ongelmia paikannuksen hitauden sekä laitteiden kylmyyden kestävyys kysymyksen kanssa. Teknisistä ongelmista on mahdollista päästä eroon valitsemalla käytettävä laitteisto paremmin.

GPS-vastaanottimen päälle kytkemisen ja ensimmäisen paikkatiedon saamisen välillä koettava viive tekee GPS-paikannuksen käytöstä epäkäytännöllistä tämän pilotin ympäristössä, ellei laitteita pidetä kokoajan päällä. GPS-paikannusta voidaan nopeuttaa huomattavasti käyttämällä uusien matkapuhelinten AGPS-ominaisuutta, joka hyödyntää keskitettyä paikannuspalvelintä paikkatiedon laskemiseen. Tällöin ei myöskään tarvittaisi ulkoista GPS-lisälaitetta, joten työntekijällä on käsiteltävänä yksi laite vähemmän.

RFID-lukijan kanssa koetut ongelmat voidaan korjata hankkimalla paremmin kylmää kestävä lukijalaitte. Markkinoilla on joitakin lukijalaitteita, joiden luvataan toimivan vielä -20 °C ... -25 °C lämpötilassa. Näistä laitteista kovinkaan monen lukuetaisyys ei ylitä 10 cm, joten betonielementtien tunnistamiseen käyttökelpoisia lukijoita ei ole montaa. Työmaalla -15 °C on lämpötilaraja, jolloin valaminen ja elementtien asentaminen keskeytyy, joten tässä lämpötilassa toimivat laitteet ovat käytännössä suurimmassa osaa tapauksia riittävät.

Elementtien sijainti varastoalueella voidaan tallentaa tietojärjestelmään ja esittää kartalla GPS-koordinaatteihin perustuen. Vaikka kaupallisten GPS-laitteiden tarkkuus on tyypillisesti 5-10 metrin luokkaa, voidaan karttakuvan perusteella kuitenkin suunnistaa elementin lähietäisyydelle ja rajoittaa merkittävästi etsittävän alueen laajuutta.

3.4. Järjestelmän pilotoimattomat ominaisuudet

3.4.1. Virheraportointi

Järjestelmään toteutettiin myös virheraportointiominaisuus, jolla betonielementissä (tai muussa RFID-tunnisteella varustetussa tuotteissa) havaitut virheet ja poikkeamat voidaan tallentaa ja siirtää tietojärjestelmään matkapuhelimen avulla. Matkapuhelinsovelluksella voidaan hyödyntää puhelimen kameraa ja ottaa vikakohtasta kuva, sanella ääninauhurille vikaraportti, sekä kirjoittaa tekstimuotoinen kuvaus virheestä. Kuvassa 22 on esitetty kuvaruutukaappauksia sovelluksen virheraportointiominaisuudesta.



Kuva 22: Matkapuhelimen virheraportointiominaisuus

3.4.2. Karttahaku

Betonielementtien GPS-paikannukseen liittyen järjestelmään toteutettiin ominaisuus, jonka avulla tietojärjestelmästä voidaan noutaa karttakuva halutusta varastoalueesta matkapuhelimeen. Karttakuvaan merkitään myös käyttäjän haluaman elementin sijainti, sekä käyttäjän oma sijainti. Käyttäjän sijainti kartalla esitetään GPS-paikantimen antamiin koordinaatteihin perustuen, ja se päivittyy reaaliajassa käyttäjän liikkuesssa

alueella. Kuvassa 23 on esitetty kuvaruutukaappaus matkapuhelinsovelluksen karttahakuominaisuudesta.



Kuva 23: Matkapuhelimen karttahakuominaisuus

3.4.3. Ontelolaatan dimensiomittausjärjestelmä

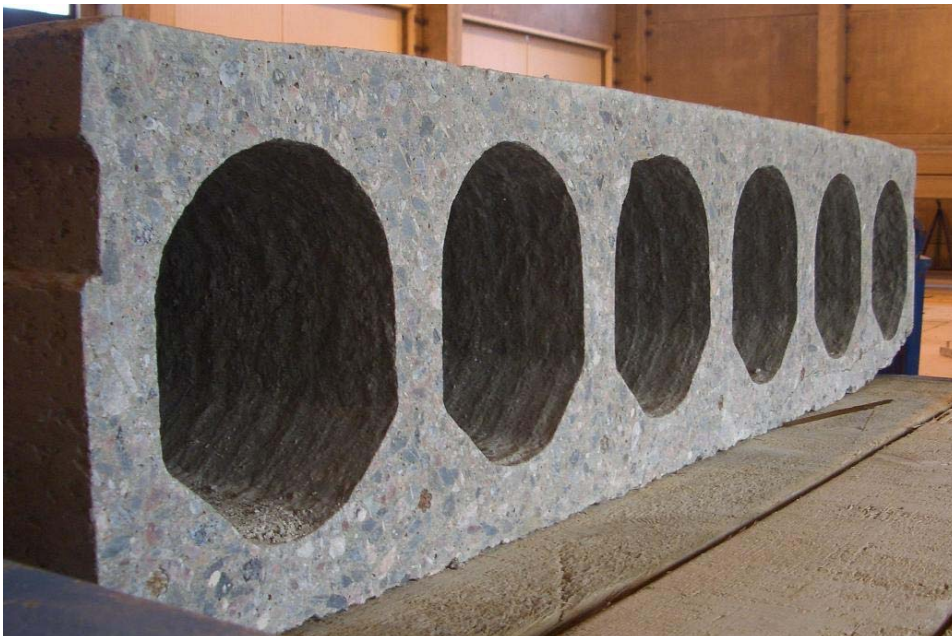
Hankkeessa testattiin myös Codatorin toteuttamaa järjestelmää ontelolaattojen dimensiomittaukseen. Dimensiomittauksen tarkoituksena on mitata ontelolaatat automaattisesti tuotantolinjalla. Tällöin mitataan laatan päädimensiot, kaarevuus, pään vinous, vaijerien sijainnit, vaijerien liukumat, päädyn ristimitta, onteloiden väliset kannakset, sekä ylä- ja alalaatan paksuudet. Ontelolaatan dimensiomittausjärjestelmän tulostiedosto on esitetty liitteessä 1 ja tarkempi esittely järjestelmästä on liitteessä 2.

Toteutetun järjestelmän demoaminen suoritettiin Mikkelin Betonin Vierumäen tehtaalla. Testissä mitattiin kolmen ontelolaatan leveys ja korkeus, väli-, ylä- ja alakannakset sekä punosten liukumat. Liitteessä 3 on esitetty vertailu yksittäisen ontelolaatan mittaustuloksista. Referenssimittaukset suoritettiin pääasiallisesti työntömitan avulla. Tulokset sisältävät sekä referenssiarvot, että järjestelmän mittaamat tulokset. Myöhemmin saatujen tulosten perusteella järjestelmän laskemille arvoille suoritettiin korjaus. Tämä johtui testitapahtumaa edeltävästä virheestä, jonka takia laitteiden kalibrointi oli viallinen. Codatorin toimittamat tulokset eri mittauskohteiden hajonnoista on esitetty taulukossa 1.

Mittauskohde	Hajonta (mm)
Alakannas	1,79
Yläkannas	1,05
Korkeus	1,06
Välikannas	1,00

Taulukko 1: Hajonnat eri mittauskohteille

Tuloksia tarkastellessa havaittiin, että lohkeamien tai muuten epätasaisten reunojen takia leveyden ja korkeuden mittaaminen voi olla hankalaa. Kuvassa 24 olevan ontelolaatan taemmassa alareunassa voidaan havaita tällainen lohkeama.



Kuva 24: Yksi mittauksessa käytetyistä ontelolaatoista.

Dimensionmittausjärjestelmän käyttöä suurempien erien yhteydessä ja osana Mobilding-järjestelmää oli tarkoitus testata hankkeen aikana, mutta mittausjärjestelmää ei saatu järjestelmätoimittajan osalta toimintakuntoon riittävän ajoissa. Järjestelmien toimiessa yhdessä olisi ontelolaatat tunnistettu ja mitattu linjalla tuotantolinjalla, jonka jälkeen saadut tulokset olisi lähetetty Mobilding-tietojärjestelmään siihen toteutetun rajapinnan avulla. Järjestelmässä tuloksia oli tarkoitus verrata suunniteltuihin tietoihin sekä ontelolaatoille määritettyihin toleranssirajoihin. Samalla järjestelmä olisi laatinut ontelolaatoille mittauspöytäkirjan.

Ontelolaatan mittauslaitteen vuokrauksessa tuli esiin erinäisiä ongelmia. Testiin valitun tuotantolaitoksen ontelolaattojen sahausjärjestelmä rikkoontui ja ontelolaattoja ei voitu

sahata automaattisesti linjalla. Kun linjalle nostettiin erillisiä mitattavia elementtejä, todettiin, että mittalaitteisto vaati huomattavasti normaalinopeutta hitaamman linjanopeuden. Koska dimensiomittausjärjestelmään toimintaa pystyttiin onnistuneesti testaamaan vasta aivan hankkeen loppupuolella, joten sitä ei kyetty pilotoimaan minkään rakennusprojektin yhteydessä.

4. Matkapuhelimen käyttö rakennusteollisuuden työkaluna

Nykyisillä matkapuhelimilla voidaan tehdä paljon muutakin kuin soittaa puheluita. Mukana kuljetettava laite seuraa käyttäjää joka paikkaan, ja kehittyneiden tietoliikenne- ja tiedonkäsittelyominaisuuksiensa takia se on houkutteleva vaihtoehto liikkuvan työntekijän työkaluksi, mahdollistaen langattoman liittymän yrityksen tietojärjestelmään. Kuitenkin matkapuhelimen käytettävyys on monissa tilanteissa merkittävästi heikompi kuin esimerkiksi kannettavan tietokoneen, lähinnä tiedonsyötön ja -esityksen osalta. Tätä heikkoutta on hankkeessa pyritty helpottamaan hyödyntämällä erilaisia teknologioita, joilla tiedon tuottaminen tapahtuu mahdollisimman automaattisesti.

4.1. Laitteiden ominaisuudet

Puhelimien näytöt ovat fyysiseltä kooltaan pieniä, joten tiedon selkeä esitys on haastavaa, vaikka näyttöjen tarkkuus onkin parantunut. Näyttöjen ominaisuudet riittävät mainiosti yksinkertaisen tiedon esitykseen, kuten esimerkiksi teksti, listat, taulukot ja pelkistetyt kaaviokuvat. Sen sijaan vaikkapa rakennuspiirustusten luettavuus on heikko. Koko piirustusta tarkastellessa yksityiskohdat ovat lukukelvottomia, ja yksityiskohtiin tarkennettaessa käsitys kokonaiskuvasta katoaa. Sovellusten tiedonesitystapaan tulee kiinnittää huomiota jo suunnitteluvaiheessa. Rakennusteollisuudessa suuri osa työstä tehdään ulkotiloissa, jossa kirkas auringonpaiste voi häiritä matkapuhelimen näytön luettavuutta. Tulevaisuudessa puhelimen näytön kokoa voidaan mahdollisesti kasvattaa yli puhelimen fyysisten mittojen kehittämällä ohuita, taitettavia tai rullattavia näyttöjä.

Puhelimen pieni koko rajoittaa myös näppäimien kokoa, joten puhelimen käyttö työmaalla esimerkiksi kylmin, kohmeisin sormin tai hansikkaat kädessä on vaikeaa tai mahdotonta. Sovelluksia suunniteltaessa voidaan pyrkiä minimoimaan näppäimistön käytön tarve, esimerkiksi tarjoamalla käyttäjälle mahdollisimman usein valmiita valintalistoja tekstin näppäilyyn sijaan. Hyödyntämällä puhelimen kameraa tai NFC-kommunikaatiotekniikkaa kohteiden automaattiseen tunnistukseen ja GPS-paikannusta sijainnin määrittämiseen, voidaan ohittaa näppäimistö kokonaan tiedonsyöttövälineenä. Tekstin kirjoittaminen näppäimistöllä voidaan tulevaisuudessa mahdollisesti korvata ääniohjauksella. Puheentunnistus voi kuitenkin soveltua huonosti meluisaan teollisuusympäristöön. Varastonhallinnassa on kuitenkin käytössä olevia puheohjausjärjestelmiä, jotka ovat jo nyt osoittaneet toimivuutensa ja tehokkuutensa.

4.2. Sovellukset

Nykyisiin älypuhelimiin voidaan ohjelmoida uusia sovelluksia aivan kuten tavallisille pöytätietokoneille. Puhelimiin on myös saatavilla tai valmiiksi asennettuina monia työpöytäkoneista tuttuja toimistosovelluksia, joilla voidaan käsitellä samoja dokumentteja

(esimerkiksi Microsoft Word, Excel ja PowerPoint -tiedostoja sekä Adobe pdf-tiedostoja). Näppäimistön rajoitteista johtuen puhelin soveltuu lähinnä dokumenttien katseluun, ei esimerkiksi tekstinkäsittelyyn.

Matkapuhelimissa on useimmiten myös WWW-selain. Uudet selainohjelmat osaavat sovittaa tavalliset web-sivut kohtuullisen hyvin puhelimen näytölle sopiviksi, pienentämällä tekstiä ja kuvia. Suomessa tällä hetkellä lähinnä kaupunkialueilla kuuluva 3G-verkko myös nopeuttaa tiedonsiirtoa merkittävästi vanhoihin matkapuhelinverkon tiedonsiirtotekniikoihin verrattuna, joten sivujen latautumista ei tarvitse odottaa niin kauan, vaikka ero langallisiin verkkoihin onkin suuri. Pilotoiduissa toiminnoissa tiedonsiirtonopeus ei asettanut rajoituksia, sillä matkapuhelimen ja tietojärjestelmän välillä siirrettävä datan määrä oli vähäinen.

4.3. Edut ja haitat

Tarkastellessa matkapuhelimien soveltuvuutta rakennustyöntekijän työkaluksi, puhelimella on puolellaan useita etuja:

- + Pieni ja kevyt
- + Monipuoliset ominaisuudet
- + Käyttö ennestään tuttua
- + Kattava matkapuhelinverkko tiedonsiirtokanavana

Matkapuhelimien käyttö on ennestään lähes jokaiselle tuttua ja se kulkee tarvittaessa vaivattomasti mukana. Tämän voidaan kuvitella helpottavan muutosvastarintaa ja helpottavan sovelluksen käyttöönotossa. Nykyiset puhelimet sisältävät lukuisia ominaisuuksia valmiiksi, joita voidaan hyödyntää. Erilaiset integroidut laitteet, kuten kamera, mutta myös tiedonsiirtorajapinnat, kuten Bluetooth, jonka avulla puhelimeen voidaan liittää erilaisia laitteita. Laitteiden peittoalue on valmiiksi hyvä, jolloin erillistä verkkoa ei tarvitse pystyttää. Matkapuhelimien käytölle on kuitenkin olemassa myös haasteita ja rajoitteita:

- Pieni näyttö
- Rajoittunut näppäimistö ja tekstinsyöttö
- Tietoliikenneyhteyden hitaus kaupunkien ulkopuolella
- Ei useinkaan suunniteltu teollisuuskäyttöön (pölyn, veden ja kolhujen kestävyys)

Haittoja ja rajoituksia voidaan yrittää minimoida ottamalla ne huomioon jo suunnitteluvaiheessa. Pienellä näytöllä esitetään kerrallaan vain oleelliseksi määritetty tieto ja pyritään antamaan mahdollisuus yksilöintiin, jolloin kutakin tehtävää varten voidaan luoda oma, tehokas käyttöliittymä. Tekstinsyötön aiheuttamia vaikeuksia voidaan minimoida tarjoamalla käyttäjälle listoja, joista hän valitsee tehtävän tai toiminnon sekä erillisten laitteiden avulla, jolla sisältöä tuotetaan. Tietoliikenneyhteyksien asettamia rajoituksia voidaan pyrkiä hallitsemaan siirrettävän

tiedon määrää minimoimalla, mutta esim. virheraporttien kuvien ja äänen siirtäminen vaatii joka tapauksessa tiedonsiirtokapasiteettia.

4.4. Mahdolliset käyttökohteet

Matkapuhelin soveltuu parhaiten apuvälineeksi sellaisiin työtehtäviin, joissa ei vaadita suuren tietomäärän esittämistä tai syöttämistä. Matkapuhelimen hyödyntämiselle rakennustyöntekijän työkaluna on useita mahdollisia käyttökohteita:

- Työtehtävien vastaanotto ja valmistumisen kuittaus
- Ulkoisesti tuotettavan tiedon, kuten mittatietojen, välittäminen
- Työssä tarvittavien dokumenttien (esim. työohjeet) haku
- Rakennusmateriaalien tai työvälineiden seuranta
- Virheraportointi ja tarkistuslistojen täyttäminen

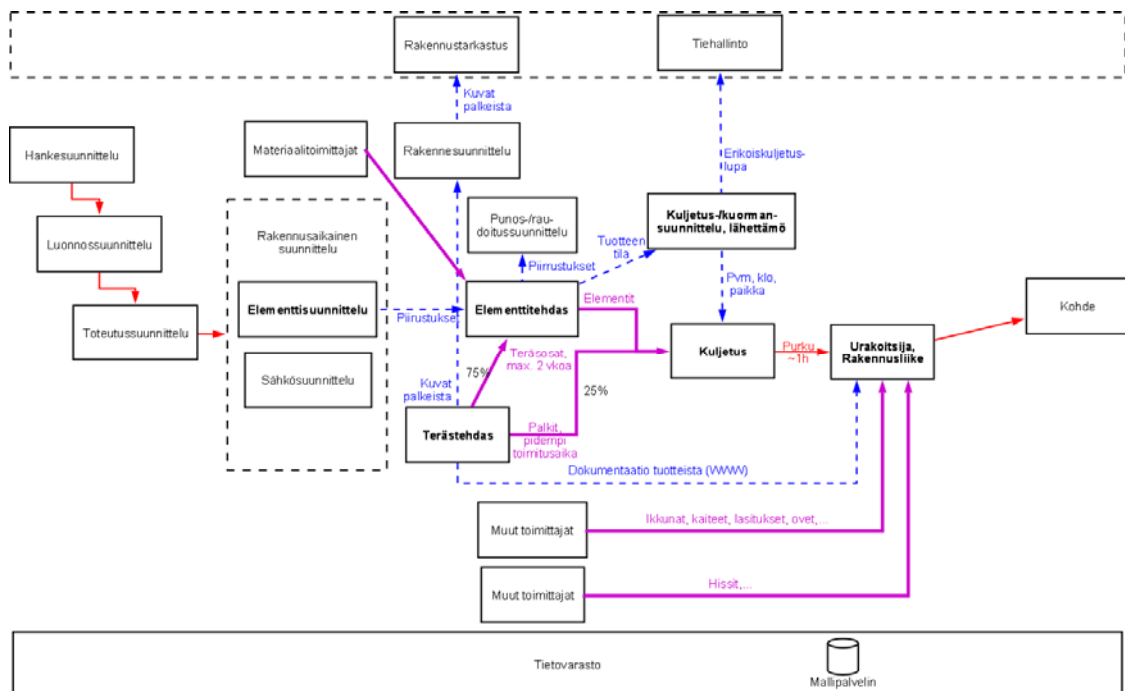
Matkapuhelinta voidaan näin ollen käyttää tehostamaan jo nykyisellään tuotettavan tiedon keräämistä, kuten erilaisten kuittausten lähettämiseen. Etu nykyiseen verrattuna on mahdollisuus reaaliaikaisuuteen ja päällekkäisen työn vähenemiseen, kun asiat joudutaan kirjaamaan vain kertaalleen. Sovelluksia voidaan hyödyntää myös innovatiivisemmalla tavalla, esimerkiksi tuottamaan entistä tarkempaa tietoa, muun muassa hyödyntäen kuvia ja videoita raportoinnin yhteydessä.

5. Keskitetyn tiedonhallintajärjestelmän rooli ja mahdollisuudet rakennusprojektissa

Hankkeen yhtenä tavoitteena on ollut hakea liiketoiminnallista hyötyä mobiiliteknologioiden käytöstä. Hankkeessa ei ole kuitenkaan ole pyritty arvioimaan koko järjestelmästä prosentuaalisesti saatavia liiketaloudellisia hyötyjä. Esimerkiksi virhekustannuksien laskenta ja arviointi osoittautui erittäin mittavaksi tehtäväksi. Rakennusteollisuuden edustajien haastattelujen perusteella tulimme johtopäätökseen, että useimmat yritykset eivät tienneet virhekustannuksiaan, niiden jyvittäminen on hankalaa eikä hankekokonaisuuksiin liittyviä arvioita ollut saatavilla. Tapaus- ja yrityskohtaisia virhekustannusarvioita on tehty, mutta niissä arvioidaan yleensä vain omalle yritykselle koituvat kustannukset, eikä vaikutuksia muihin osapuoliin.

5.1. Toimitusprosessin osapuolet

Yritysten käyttäessä yhteistä tietojärjestelmää, tulee yritysten välisen kommunikaation sekä toimintatapojen muuttua informatiivisemmaksi ja yhdenmukaisemmaksi. Kuvassa 25 on esitetty pääpiirteittäin elementtien suunnitteluun, valmistukseen ja niiden toimitukseen liittyvät eri osapuolet, joilla kullakin on erilainen rooli hankkeessa toteutetun tietojärjestelmän käyttäjänä. Samassa on kuvattu myös eri osapuolten väliset keskinäiset tietovirrat.



Kuva 25: Elementtien valmistukseen ja toimitukseen liittyvät osapuolet

5.1.1. Suunnittelu

Yksittäisen elementin elinkaaren voi katsoa alkavan suunnittelusta. Suunnittelua voidaan tarkastella joko yksittäisen elementin tai rakennusprojektin kokonaisuuden tasolla. Hankkeen ja sen aikana toteutetun tietojärjestelmän osalta yksittäiseen elementtiin liittyvä ja hankkeen muiden osapuolien kanssa jaettava tieto sisältää elementin päädimensiot sekä mahdollisesti sen valmistukseen ja asentamiseen liittyvät aikataulusuunnitelmat. Myöhemmässä vaiheessa mahdollisesti syntyneet poikkeamat joko dimensioiden tai aikataulujen osalta voidaan havaita automaattisesti ja niistä voidaan informoida tarvittavia osapuolia. Erityisesti aikataulujen osalta poikkeamat ja viivästykset voivat aiheuttaa muutoksia koko projektin aikatauluihin.

Suunnitteluohjelmistot eivät nykyisellään sisällä ainoastaan rakennuksen suunnitelmatietoa tai ole ainoastaan 3D-suunnitelma, vaan niihin voidaan tuoda tietoa myös hankkeen aikana toteutuman osalta. Hankkeessa toteutetusta Mobilding-tietojärjestelmästä voidaan siirtää automaattisesti Tekla Structures rakennusmalliin elementtiin liitetyn RFID-tunnisteen tiedot, elementin toteutuneet dimensiot sekä elementin tapahtumatiedot. Näin ollen mallista voidaan esim. seurata rakennuksen pystyttämisen etenemistä lähes reaaliajassa tai seurata valmiiden ja varastoitujen elementtien tilaa.

Mikäli elementtien tunnistaminen niihin upotettujen RFID-tunnisteiden avulla jossain vaiheessa tulee yleiseksi, on tunnistaminen tuotava jo osaksi suunnittelua. Tämä ei tarkoita ainoastaan hanke- vaan myös elementtikohtaista tunnisteiden sijoituspaikan määrittämistä. Mikäli RFID-tunnisteiden tulee olla luettavissa myös valmiista rakennuksesta, tulee tunnisteet sijoittaa niin, että niiden lukemisen esteenä myöhemminkään ole kiinteitä haittoja. Elementtien valmistuksen yhteydessä otetaan huomioon ainoastaan kyseisen elementin aiheuttamat rajoitteet, joten kokonaisuuden toimivuuden kannalta päätökset on tehtävä jo varsinaisessa suunnitteluvaiheessa.

5.1.2. Elementtien valmistus

Hankkeessa keskeinen rooli on ollut elementtien valmistamisen ympärillä tapahtuvilla tehtävillä. Tähän vaiheeseen liittyy tunnisteiden varsinainen asentaminen elementteihin, mutta usein myös sidoksen luominen elementtiin asennetun tunnisteiden ja suunnitelman objektin välille. Koska tunnisteille ei sarjanumeron lisäksi ole tallennettu muuta tietoa, on tässä vaiheessa RFID:tä hyödynnetty ainoastaan elementtien tunnistamisen helpottamiseen ja sen mahdollistamiseen myös valmiin rakennuksen osalta. Erilaisia näkyviä viivakoodeja tai sarjanumeroita voidaan yhtälailla käyttää, mutta niiden osalta elementtien yksilöllinen tunnistaminen on mahdotonta tunnistelapun poistamisen jälkeen.

Elementtien valmistuksen jälkeen voidaan ne mitata käyttäen mm. hankkeessa pilotoidun lasermittauslaitteiston avulla. Mittatiedot sidotaan RFID-tunnisteen avulla yksilöllisesti kuhunkin elementtiin ja toteutuneet mitat voidaan jakaa muille osapuolille ja siirtää aina

suunnitteluohjelmistoon asti. Tarvittaessa voidaan myös tallentaa tieto yksittäisen elementin tai kuorman sijainnista varastoalueella. Samalla voidaan järjestelmään siirtää tieto elementin tilasta. Näin ollen hankkeen eri osapuolilla on pääsy reaaliaikaisesti elementtien sen hetkiseen tilanteeseen tehtaalla, jolloin tietoa voi hyödyntää kuormansuunnittelun ja tarkemman asennusaikataulun suunnittelemisen yhteydessä.

5.1.3. Elementtien kuljetus

Elementtien kuljettamisen ja kuormansuunnittelun osalta oleellista tietoa ovat aikataulut, elementtien dimensiot sekä niiden valmistustila. Tarvittaessa voidaan myös hyödyntää elementtien sijaintitietoa haettaessa niitä varastoalueelta tai tuottaa tietoa siitä, minne elementit rakennustyömaalla väliavarastoidaan.

Kuljetukseen liittyen voidaan tuottaa tietoa siitä, mitkä elementit ovat noudettu kuljetettavaksi. Rakentajalla on tällöin tieto siitä, että elementit ovat matkalla rakennustyömaalle ja mahdollisuus arvioida aikataulun paikkansapitävyys. Kuljetuksen aikana tai sitä ennen mahdollisesti syntyneet vauriot voidaan rekisteröidä järjestelmään mobiilipäätelaitteen avulla.

5.1.4. Rakennusliike

Rakennusliike voi hyödyntää tehtaan tuottamaa tila- ja mittatietoa. Yksittäistä mittatietoa tärkeämpää tietoa on kuitenkin vakavammat toleranssirajojen ylitykset tai aikataulujen poikkeamat. Tämän tiedon saaminen mahdollisimman automaattisesti ja nopeasti voi usein helpottaa virheisiin reagointia, antaen mahdollisuuden vaikuttaa niihin mahdollisimman pian. Myös mahdollisesti elementeissä havaittavat virheet voidaan tallentaa järjestelmään, jolloin tieto ja huomautus virheestä menevät määritettyjen tahojen tietoon toimitusketjussa välittömästi.

Rakentaja voi elementin vastaanotettuaan tai asennettuaan kuitata tiedon päätelaitteella järjestelmään. Järjestelmästä tieto voidaan ohjata aina rakennussuunnitelmaan asti, josta voidaan seurata työmaan etenemistä reaaliaikaisesti. Tämä antaa mahdollisuuden suunnitelman tarkentamiselle ja valvomiselle.

5.2. Liiketoiminnallisten mahdollisuuksien selvittäminen

Hankkeessa toteutetun järjestelmän liiketaloudellisiin vaikutuksiin liittyvässä selvitystyössä on pyritty ottamaan huomioon mm. rakennusprojektin osapuolet, toimitusketjut, aikataulut ja poikkeamakäsittelyt. Tästä johtuen kokonaisuuden arviointi on varsin monimutkaista, joten johtopäätöksiä koko toimitusketjun osalta ei ole pyritty tekemään.

Hankkeen osatulosten selvittäminen on helpompaa, koska tällöin voidaan keskittyä tuloksiin yhden yrityksen kannalta. Esimerkkinä tästä on mm. betonielementin lasermittaus nykyisen mittanauhalla tapahtuvan mittauksen sijaan, jossa mittausprosesseista aiheutuvaa työmäärää ja siitä syntyviä kustannuksia voidaan verrata suoraan toisiinsa. Mittausprosessissa tapahtuvien muutosten lisäksi saadaan mittatieto uuden järjestelmän avulla suoraan digitaaliseen muotoon, jolloin syntyneen tiedon hyödyntäminen ja analysointi yrityksen sisäisesti on huomattavasti helpompaa sekä tiedon jakaminen yksittäisten elementtien osalta mm. tilaajalle mahdollista automaattisesti.

Hankkeen tulosten taloudelliset vaikutukset selviävät tulosten tuotteistuksen ja käyttöönoton myötä. Tulosten tuotteistamiseen ja hyödyntämiseen on ilmaistu kiinnostusta, joten on oletettavaa, että yritykset näkevät hankkeen tuloksilla saavutettavan taloudellisia etuja. Koko prosessin muutos on erittäin haastavaa toteuttaa kerralla, joten aiemman kokemuksen perusteella on hyvin todennäköistä, että prosessin muutos lähtee liikkeelle pienistä osa-alueista, kuten juuri mittauksen digitalisoimisesta ja sen automaattisesta analysoinnista. Kun tietty prosessin osa-alueista on toimintakunnossa ja todettu hyödylliseksi, muiden siihen liittyvien toimintojen integroiminen osaksi käy luonnollisemmin ja hallitusti.

6. Johtopäätökset

Suunnitteluun ja tuotannonohjaukseen käytettävät ohjelmistot ovat usein liian raskaita käytettäväksi rakennusprojektin aikana syntyvän tiedon kokonaisvaltaiseen hallitsemiseen reaaliaikaisesti. Tämä voitiin todeta ensimmäisen pilotin yhteydessä, jossa hankkeen elementtien tiedon päivittäminen toteutetun rajapinnan avulla osoittautui aikaavieväksi. Näin ollen Mobilding-hankkeessa otettu lähestymistapa toteuttaa keskitetty tietojärjestelmänä, joka voi samalla toimia integraatiopalvelimenä eri järjestelmien suuntaan, osoittautui hyväksi ratkaisuksi. Hankkeen aikana syntyviä tietoja voidaan hallita tehokkaasti ja kerätyt tiedot voidaan siirtää muihin järjestelmiin tarpeen mukaan. Päivitykset ja muutokset voidaan viedä tarvittaessa päivittäin tai tiedot voidaan siirtää koostetusti hankkeen alku- ja loppuvaiheessa.

Koko toimitusketjun prosessien ja vanhojen toimintatapojen muokkaaminen yhdellä kertaa on suuri tehtävä. Oletettavaa onkin, että toteutettujen osa-alueiden käyttöönotto tapahtuu luonnollisimmin tehtävä kerrallaan. Jo hankkeen pilottien yhteydessä tuli esiin tarve modulaarisille, räätälöidyille ja itsenäisesti toimiville palveluille. Tästä johtuen järjestelmään toteutettujen palveluiden rajapinnat on pyritty toteuttamaan avoimia standardeja noudattaen. Tämä helpottaa myöhemmin tarvittaessa toteutettujen osien irrottamisen erillisiksi osikseen, jotka voidaan integroida myös osaksi ulkopuolisia järjestelmiä. Näin ollen toteutetut matkapuhelinsovellukset eivät vaadi ehdottomasti Mobilding-tietojärjestelmää toimiakseen, vaan ne voidaan liittää myös muiden järjestelmien yhteyteen, jotka tarjoavat yhtenevän rajapinnan.

Suurempien prosessiin aiheutuvien muutosten läpivieminen vaatii huomattavan määrän resursseja sekä sitoutumista siihen osallistuvilta osapuolilta. Kuten tässäkin hankkeessa, RFID-teknologian ja siihen liittyvien toimintojen varsinaisessa keskipisteessä ovat elementtitehtaat. Ensimmäisessä vaiheessa toteutettavien sovellusten tulee palvella myös elementtitehtaiden tarpeita tai niiden tulee muutoin saada hyötyä tunnistamisen ja tilatiedon tuottamisen aiheuttamista kustannuksista. Esimerkki tehtaille hyödyllisestä sovelluksesta on elementtien dimensiomittausjärjestelmä, joka yhdistettynä suunnitelmatiedon tuomiseen järjestelmään voi osittain automatisoida elementtien mittaamisen jälkeisen validoinnin.

Mobilding hanke on ollut antoisa hanke Lappeenrannan teknisen yliopiston tutkijoille ja opettanut paljon rakennusteollisuudesta. Tutkimusryhmä on tyytyväinen hankkeen tuloksiin ja uskoo, että osa tuloksista tullaan tuotteistamaan lähitulevaisuudessa. Hankkeen aikana todettiin monia uusia tutkimuslinjoja ja joista osaa lähdetään tutkimaan MobTool-hankkeessa.

Liite 1. Codator-mittausjärjestelmän tulostiedosto

```
<DataHolder>
  <dir name="info">
    <stringItem name="pvm">"18.06.2008"</stringItem>
    <stringItem name="klo">"16:52:47"</stringItem>
  </dir>
  <dir name="dim">
    <doubleItem name="pituus_ilmoitettu">3500.0</doubleItem>
    <doubleItem name="leveys_ala">1187.2</doubleItem>
    <doubleItem name="korkeus">206.8</doubleItem>
  </dir>
  <dir name="paadyt">
    <dir name="alku">
      <doubleItem name="vinous_mm_div_m">-53.2</doubleItem>
      <doubleItem name="ristimitat_mm">1187.8 1195.1</doubleItem>
      <dir name="ontelot">
        <intItem name="lkm">6</intItem>
        <doubleItem name="kannakset">32.4 37.4 38.7 40.8 39.2 37.2 37.3</doubleItem>
        <doubleItem name="ylapaksuus">41.1 37.8 39.9 41.0 41.2 34.4</doubleItem>
        <doubleItem name="alapaksuus">35.8 36.8 36.1 34.7 35.3 38.2</doubleItem>
      </dir>
      <dir name="vaijerit">
        <doubleItem name="X">30.3 NaN 392.4 NaN 773.4 NaN 1173.3</doubleItem>
        <doubleItem name="Y">52.7 NaN 52.7 NaN 54.8 NaN 47.7</doubleItem>
        <doubleItem name="liukuma">-0.5 NaN -0.4 NaN -0.4 NaN -0.6</doubleItem>
      </dir>
    </dir>
  </dir>
</DataHolder>
```

Liite 2. Codator-mittausjärjestelmän esittely

CODATOR OY

Ontelolaatan dimensiomittarin esittely

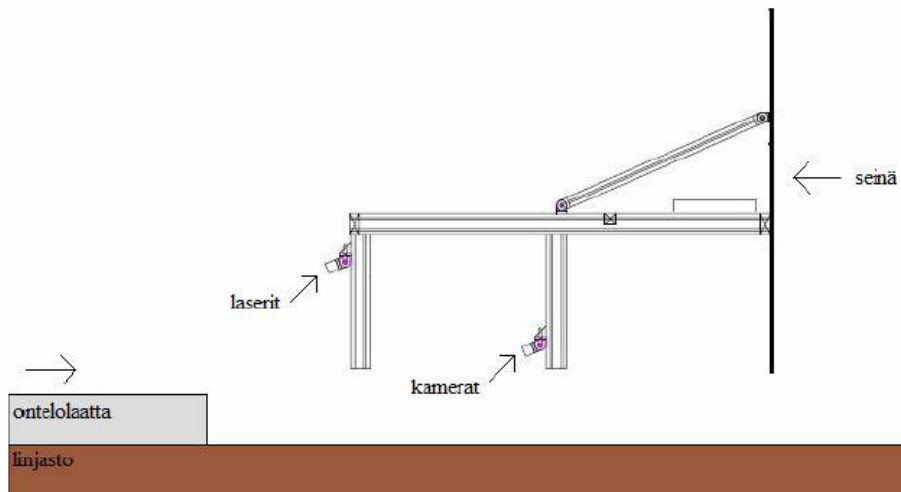
Kalle Eskola
6.8.2008

Sisältö

1. Fyysinen rakenne ja laitteisto.....	2
2. Kalibrointi.....	2
3. Mittausperiaate.....	3
4. Tulokset.....	4
5. Käyttö.....	4

1. Fyysinen rakenne ja laitteisto

Laite koostuu seinään asennetusta kehikosta (kuva 1), jonka etureunaan on asennettu kolme laseria ja hieman kauemmas kolme kameraa. Kehikkoon on lisäksi kiinnitetty tietokone ja tarvittavat kaapeloinnit valo- ja pulssianturille. Laitteessa on myös liikennevalot, joiden avulla käyttäjä pystyy seuraamaan laitteen toimintaa.



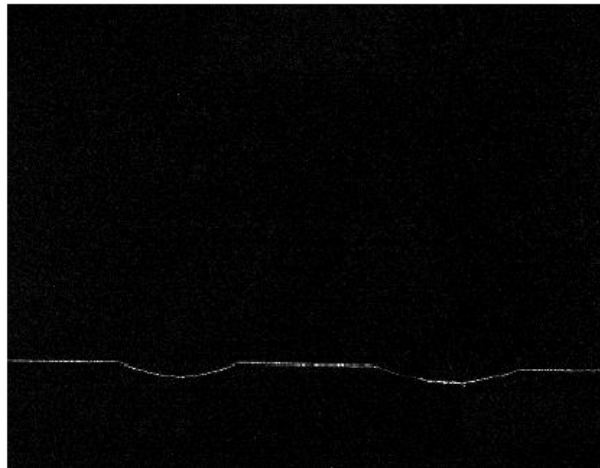
Kuva 1. Kehikko sivusta kuvattuna

2. Kalibrointi

Laser-tason ja kameroiden sijainnit määritetään kalibroinnilla. Samalla saadaan määriteltyä linssivääristymät. Kalibrointi tulee suorittaa uudelleen, mikäli jotakin systeemissä muutetaan fyysisesti. Kamerat myös kiinnitetään haluttuun (= järkevään) maailmankoordinaatistoon.

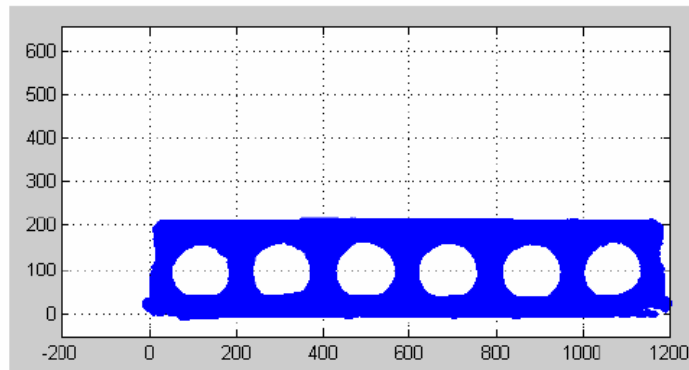
3. Mittausperiaate

Laite aloittaa kuvien keräämisen, kun ontelolaatta peittää linjastoon asennetun valoanturin. Kerääminen lopetetaan, kun kappale on liikkunut ennalta määritellyn matkan. Jokaisesta kuvasta etsitään laser-viiva (kuva 2), joka pyyhkäisee laatan etureunan laatan liikuessa.



Kuva 2. Laser-viiva

Kun kameroiden ja laser-tason sijainti on määritelty ennalta kalibroinnilla, saadaan kuvista laskettua havaitun laser-viivan pikselien ja tunnetun laser-tason leikkauspisteiden 3d-koordinaatit. Tuloksena on siis joukko 3d-pisteitä (kuva 3). Pistejoukko tulee vielä tasata samalle tasolle, sillä laattahan on liikkunut eteenpäin. Tähän käytetään pulssianturia.



Kuva 3. Matlabilla lasketut 3d-pisteet (kuvassa laatan pääty kaksiulotteisesti)

4. Tulokset

Saadusta pistejoukosta (kuva 3) saadaan määritettyä halutut dimensiot sopivasti suodattamalla ja käsittelemällä pisteitä. Tulokset esitetään liitteenä olevan xml-tiedoston mukaisesti. Jos laatta kulkisi mittarin ali kokonaan, voitaisiin lisäksi mitata sen pituus ja kaarevuus. Tähän saakka ajettujen testien perusteella näyttäisi mittausten keskihajonta olevan noin 1,0 mm ja vaijerien liukumien tunnistamisraja samoin noin 1,0 mm.

5. Käyttö

Mikkelin Betonin Vierumäen linjastolla on tarkoitus, että käyttäjä ajaa käsiajolla halutun ontelolaatan mittarin toiminta-alueelle. Kun mittaus on suoritettu, laite tuottaa kohdassa 4 esitellyn xml-tiedoston, jonka jälkeen laatta voidaan nostaa pois linjastolta. Tiedosto voidaan esim. jättää jaetulle kiintolevyille tai lähettää haluttuun paikkaan. Tulostiedostoon voidaan myös lisätä ontelolaatan yksilöllinen tunniste, jos sille on tarvetta. Tämä voisi tapahtua esim. viivakoodinlukijan, rfid-tunnisteen, näppäimistön tai matkapuhelimen avulla.

Asettaessa laite johonkin toiseen linjastoon mittari voisi mitata kaikki sen ali kulkevat ontelolaatat automaattisesti, olettaen että linjaston nopeus on riittävän alhainen (noin 2-3 cm/s). Periaatteessa on myös mahdollista muuttaa mittarin toimintaa niin, että ontelolaatan ollessa pysähdyksissä mittari liikkuu vaaditun matkan. Tällöin välttyään mahdollisilta kalliiltakin linjaston muutoksilta.

Liite 3. Yksittäisen ontelolaatan mittaustulokset

	Käsin mitattu (mm)	Codator mittalaite (mm)	Erotus (mm)	Codator mittalaite, korjattu (mm)	Erotus, korjattu (mm)
Leveys *	1164,00	1174,3	-10,30	1187,20	-23,20
Korkeus 1 *	200,00	206,1	-6,10	206,80	-6,80
Korkeus 2 *	201,00	206,1	-5,10	206,80	-5,80
Korkeus 3 *	201,00	206,1	-5,10	206,80	-5,80
Korkeus 4 *	202,00	206,1	-4,10	206,80	-4,80
Korkeus 5 *	201,00	206,1	-5,10	206,80	-5,80
Korkeus 6 *	200,00	206,1	-6,10	206,80	-6,80
Korkeus 7 *	NA				
Välikannas 1	35,01	34,6	0,41	32,40	2,61
Välikannas 2	38,22	37,5	0,72	37,40	0,82
Välikannas 3	38,84	38,7	0,14	38,70	0,14
Välikannas 4	39,93	40,9	-0,97	40,80	-0,87
Välikannas 5	40,42	39,2	1,22	39,20	1,22
Välikannas 6	37,36	37,2	0,16	37,20	0,16
Välikannas 7	39,81	37,4	2,41	37,30	2,51
Yläkannas 1	40,46	32,9	7,56	41,10	-0,64
Yläkannas 2	36,83	32,4	4,43	37,80	-0,97
Yläkannas 3	38,18	35,3	2,88	39,90	-1,72
Yläkannas 4	39,03	35,9	3,13	41,00	-1,97
Yläkannas 5	40,02	39,2	0,82	41,20	-1,18
Yläkannas 6	31,90	33,4	-1,50	34,40	-2,50
Alakannas 1 *	29,00	19,4	9,60	35,80	-6,80
Alakannas 2 *	29,00	2,9	26,10	36,80	-7,80
Alakannas 3 *	28,00	36,9	-8,90	36,10	-8,10
Alakannas 4 *	29,00	8,9	20,10	34,70	-5,70
Alakannas 5 *	28,00	9,2	18,80	35,80	-7,80
Alakannas 6 *	30,00	39,1	-9,10	38,20	-8,20
Punos 1	1,60	Ei tulosta		0,50	1,10
Punos 2	NA	Ei tulosta		Ei tulosta	
Punos 3	1,20	Ei tulosta		0,40	0,80
Punos 4	1,10	Ei tulosta		Ei tulosta	
Punos 5	1,40	Ei tulosta		0,40	1,00
Punos 6	NA	Ei tulosta		Ei tulosta	
Punos 7	1,80	Ei tulosta		0,60	1,20

* Mitattu rullamitalalla; muut arvot mitattu digitaalisella työntömitalla