

TIETOMALLI JA 3D-AVUSTEINEN TYÖNJOHTO

Virtuaalinen ja digitaalinen maailma työnjohdon apuna

Raimo Kankaristo

Opinnäytetyö
Tekniikan ala
Rakennus- ja yhdyskuntatekniikka
Rakennusinsinööri (AMK)

2021

Tekniikan ala
Rakennus- ja yhdyskunta tekniikka
Rakennusinsinööri (AMK)

Tekijä	Raimo Kankaristo	Vuosi	2021
Ohjaaja	Juha Vesa		
Työn nimi	Tietomalli ja 3D Avusteinen työnjohto		
Sivu- ja liitesivumäärä	31+ 0		

Tämä opinnäytetyö käsitteli rakennuksen tietomallia (BIM) ja virtuaalista maailmaa (VR) työnjohtajan näkökulmasta. Työnjohtajat joutuivat käyttämään tietomallia päivittäisessä työssään. Tietomallin käyttäminen on tuonut rakennustyömaille monenlaisia hyötyjä sekä haasteita.

Uutena tulokkaan rakennustyömaille oli tullut virtuaalinen maailma (VR). Virtuaalisen maailman myötä on myös lisätyn todellisuuden (AR) ja yhdistetyn todellisuuden (MR) tekniikkaa käytettiin NCC:n Espoon OOPSin rakennustyömaalla testaamalla Trimblen whit Hololens 2 virtuaalikypärää. Käytettäessä virtuaalitekniikka rakennustyömaalla, tämä tuo lisää uusia haasteita sekä hyötyä rakennusalalla työskenteleville työnjohtajille.

Työssään työnjohtajien oli hyvä osata käyttää digitaalista maailmaa. Työnjohtajan oli myös hyvä tietää, mikä ero on 3D- kuvalla ja tietomallilla. Virtuaalisesta maailmasta saadut hyödyt päivittäisten töiden suorittamiseen oli hyvä myös työnjohtajan tietää. Tässä opinnäyttyössä ei ole tehty laskelmia digitaalisen maailman tuomista hyödyistä. Työmaalla testattiin miten yhdistetyn todellisuuden tekniikka (MR) toimi rakennustyömaalla.

Avainsanat

työnjohtaja, tietomalli, virtuaalinen maailma, rakennustyömaa

Degree Programme in Civil
Engineering
Bachelor of Construction
Engineering

Author	Raimo Kankaristo	Year	2021
Supervisor	Juha Vesa		
Subject of thesis	Data model and 3D assistance management		
Number of pages	31 + 0		

This thesis deals with the Building Information Modeling (BIM) and the virtual world (VR) from the foreman's point of view. Foreman's must use the data model for daily work environment. The use of the data model has also brought a wide range of benefits and challenges to construction sites.

The virtual world is a newcomer to construction sites. With the virtual world (VR), augmented reality (AR) and mixed reality (MR) and technology have also started to be used at the construction site. When using virtual technology on a construction site, this also brings more new challenges and benefits for supervisors working in the construction industry.

In their work, managers should be able to use the digital world. It is also good for the foreman to know the difference between a 3D image and a data model. The benefits of the virtual world for carrying out daily work are also good for the foreman to know. In this study, no calculations have been made of the benefits of the digital world. The site tested how mixed reality technology (MR) works on construction sites.

Key words

foreman, Building Information Modeling, virtual world, construction

SISÄLLYS

1	JOHDANTO.....	7
2	YTV2012 JA BEC2012	8
2.1	YTV2012 mallitekniset vaatimukset yleisesti.....	8
2.2	BEC2012 mallitekniset vaatimukset.....	8
3	3D- MALLI JA TIETOMALLINTAMINEN	9
3.1	3D- malli työnjohdontukena	10
3.2	Tietomallintaminen työnjohdon tukena.....	11
3.3	3D- malli ja tietomalli työnsuorittajan apuna	12
3.4	3D- tietomalli ja yhdistetty todellisuus työmaan valvonnan apuna	13
3.5	Ongelman tulkitseminen tietomallilla ja 2D-kuvana	14
4	VIRTUAALIMAAILMA.....	16
4.1	Työnjohto virtuaalitodellisuudessa sekä lisätyssä todellisuudessa	17
4.2	Työturvallisuus virtuaalisessa maailmassa.....	18
4.3	Virtuaalimaailman tuki työmaakokouksessa.....	20
4.4	Tulevaisuudessa työnjohtaminen virtuaalisessa MR-maailmassa	21
5	VIRTUAALILASIT YLEISESTI	23
5.1	Trimble XR10 Yhdistetyn todellisuuden käyttö työmaaympäristössä...	24
6	RAKENNUSMITTAUKSET YHDISTETYSSÄ TODELLISUUDESSA	27
7	HAASTEITA TYÖNJOHDOLLE AR, MR SEKÄ TIETOMALLIA KÄYTETTÄESSÄ.....	28
8	POHDINTA.....	29
	LÄHTEET	31

ALKUSANAT

Haluan tässä nyt kiittää henkilöitä, jotka mahdollistivat tämän opinnäytetyön tekemisen. Kiitokset digi-insinööri Eero-Pekka Piipposelle hänen antamastaan mahdollisuuden käyttää Trimblen XR10 virtuaalikypärää työmaaolosuhteissa. Kiitokset myös Kari Immoselle Geotrim Oy:stä, joka on omalta osaltaan antanut tietoa Trimblen XR10:stä. Haluan myös kiittää ystävääni Janne Granholmia hänen kattavasta tietotaidostaan teollisuus- ja rakennusmittausalalta.

KÄYTETYT MERKIT JA LYHENTEET

2D	Kaksiulotteinen esitystapa
3D	Kolmiulotteinen esitystapa
AR	Lisätty todellisuus
MR	Yhdistetty tai tehostettu todellisuus
VR	Virtuaalitodellisuus
XR	Laajennettu todellisuus
IFC	Industry Foundation Classes
BIM	Building Information Modeling
QR koodi	Ruutukoodi on kaksiulotteinen kuviokoodi, joka yhdistää fyysisen ja virtuaalimaailman
Tekla Structures	tietomalliohjelma
BEC	Common BIM requirements

1 JOHDANTO

Rakennusten suunnittelu tietomallin avulla alkaa olemaan rakennusalalla jo arkipäivää, kun taas virtuaalinen maailma tekee vasta tuloaan. Tietomallien käyttäminen on tuonut rakennustyömaille myös uusia haasteita, ja nykyään näihin haasteisiin joutuu myös työnjohto työssään vastaamaan. Ohjelmat, joita tietomallien suunnittelussa käytetään, eivät ole yksistään vain suunnittelijoiden käytössä. Nykyaikana myös yrityksen työnjohdon on opeteltava käyttämään tietomallinnusohjelmia johtaessaan työmaita. Tietomallit ovat haasteiden lisäksi tuoneet myös helpotusta työmaan johdolle, koska visuaalisesti katsottuna tietomallinnetusta suunnitelmasta saa huomattavasti enemmän informaatiota kuin tasomaisesta 2D-kuvasta.

Kun tietomallien käyttäminen on työmailla jo arkipäivää, virtuaalinen maailma on aloittanut vasta tulonsa rakennustyömailla. Virtuaalisen maailman kehittyminen ja sekoittuminen todelliseen ympäristöön on tuonut rakennusalalle uuden näkökulman sekä mahdollisuuden. Virtuaalista maailmaa pidetään yleisenä terminä. Tässä opinnäytetyössä ei tutkita virtuaalimaailmassa käytettävien lyhenteiden eroavaisuuksia. Seuraavia lyhteitä kuten VR-, AR-, MR-, XR- käydään kuitenkin pintapuolisesti läpi.

Opinnäytetyö käy läpi 2D-kuvan ja 3D-kuvan eroavaisuuksia, tietomallia ja virtuaalimaailmaa. Virtuaalimaailmasta tarkastellaan lisätyn todellisuuden (AR) ja yhdistetyn todellisuuden maailmaa (MR) rakennustyömaan ja työnjohdon näkökulmasta katsottuna. Opinnäytetyössäni käytettiin myös virtuaalikypärää, joka toimii yhdistetyssä todellisuudessa (MR).

2 YTV2012 JA BEC2012

Common BIM requirements lyhennettynä COBIM-projekti käynnistyi vuonna 2011. Tämän projektin tarkoituksena oli laatia suomeen tietomallivaatimukset YTV2012. Hankkeen rahoittajina oli suuri joukko, rakennuttajia, kiinteistön omistajia, rakennusliikkeitä ja ohjelmistotaloja. Vuosina 2011 ja 2012 BEC 2012 kehitettiin betonielementtien mallintamista ja tiedonsiirtoa ajatellen. Kehitystyöhön osallistuivat betonielementtiteollisuus, rakennesuunnittelijat sekä Tekla Oy.

YTV2020 on julkisella lausuntokierroksella ja lausunto koskee kehitys hankkeen ensimmäistä kokonaisuutta Yhteiset tietomallivaatimukset. Tietomallien hyödyntäminen rakennushankkeessa. (Rakennustarkastusyhdistys 2021.)

2.1 YTV2012 mallitekniset vaatimukset yleisesti

Senaatti-kiinteistöjen vuonna 2007 julkaistujen tietomallivaatimusten päivitys toteutettiin vuosina 2011-2012 COBIM-hankkeen muodossa. Hankkeen rahoittajina olivat Senaatti-kiinteistöjen lisäksi suuri joukko muita kiinteistöjen omistajia ja rakennuttajia, rakennusliikkeitä ja ohjelmistotaloja. Myös BuildingSMART osallistui hankkeen rahoittamiseen. Päivitystyön tuloksena syntyivät Yleiset tietomallivaatimukset 2012 osat 1-9 ja uusina osat 10-14. Tietomallit eivät korvaa piirustuksia tai muita suunnitelma-asiakirjoja. (BuildingSMART 2012.)

2.2 BEC2012 mallitekniset vaatimukset

Elementtisuunnittelun BEC2012-mallinnusohje on tarkempi kuin YTV2012-ohje. BEC2012-mallinnusohjeen teon lähtökohtana on tarkemmat vaatimukset malliin liittyen ja suoraan mallista saatavat määrätiedot sekä projektin etenemisen seuraaminen mallissa olevien tietojen perusteella. (Kautto 2012,1.)

3 3D- MALLI JA TIETOMALLINTAMINEN

Puhuttaessa 3D-mallista yleisellä tasolla voidaan puhekielessä sekoittaa termit 3D- malli ja tietomallintaminen. Mallintamisen ja rakennusalan ammattilaiset harvemmin sekoittavat puhekielessä näitä termejä, koska he tietävät minkälaisista komponenteista rakennus on tehty.

Tietomallilla esitetään koko rakennuksen elinkaari. Elinkaari alkaa suunnittelusta ja jatkuu käytöstä ylläpitoon asti. Tietomallintaminen on kaikkien rakennelmien ja niiden eri osa-alueiden ja osaamisen yhteen sovittamista. Oikealla tavalla tehty tietomalli, pitää sisällään kaiken mitä rakennushanke sisältää.

Tietomallintamiseen sisältyy myös kappaleen visuaalista tarkastelua 3D-muodossa. Tietomallintaminen sisältää lisäksi myös paljon tietoa. Kun tietomallia tehdään esimerkiksi Teklalla niin silloin käytetään Teklan numerointisuositusta.

Puhuttaessa 3D-mallista puhutaan kappaleesta, joka käsittää rakenteen muodon, värin ja kokotiedon. Kun tieto lisätään malliin, esimerkiksi asennusaikataulu voidaan käyttää nimitystä 4D-malli. Kun malliin lisätään peruspulteille asennusaikataulu, niin saadaan aikaan 5D-malli.

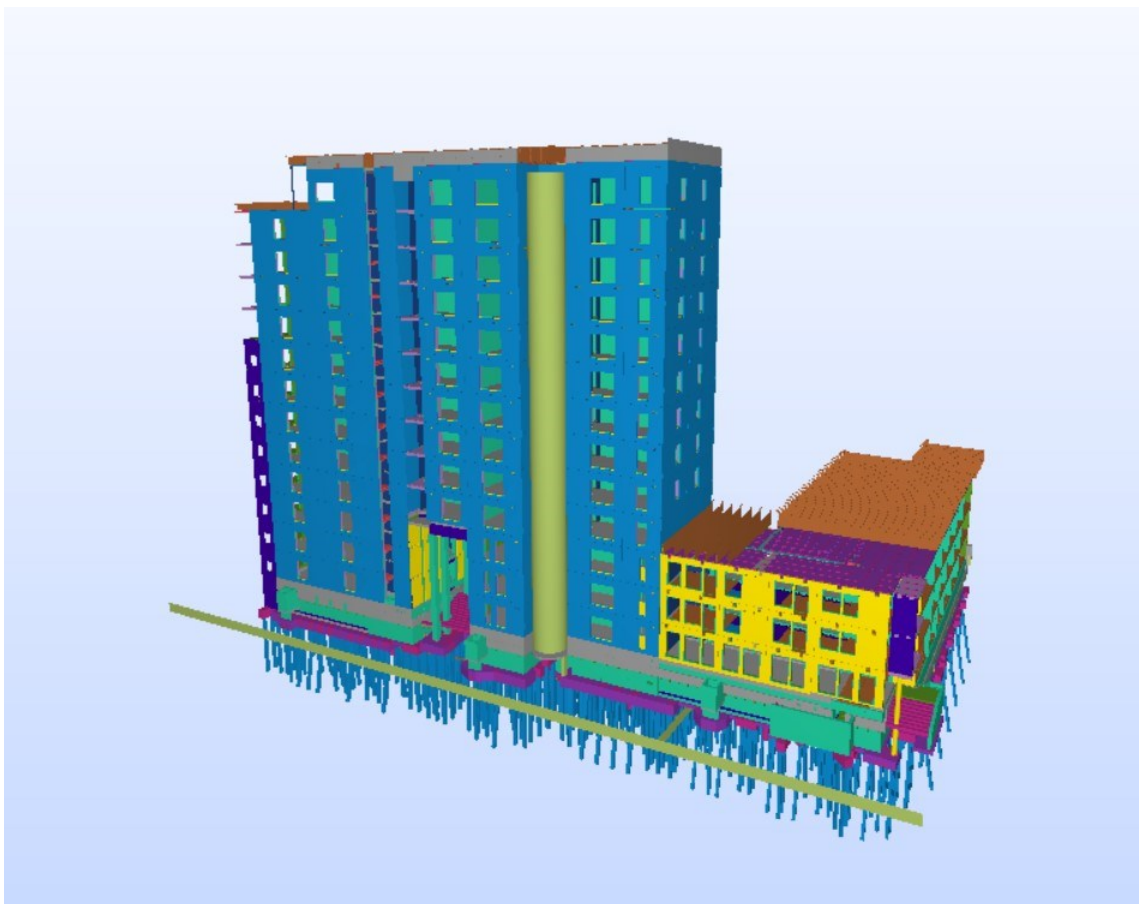
Tietomallien yhteensovituksessa käytetään omaa erillistä ohjelmaa. Tähän ohjelmaan laitetaan eri suunnittelijoiden tekemät IFC-mallit ja tietomallille suoritetaan törmäystarkastelu. Törmäystarkastelu suoritetaan automaattisesti ja visuaalisesti. Yhteensovitusraportteihin lisätään kuvakaappauksena havaitut ongelmat kohdat sekä mallien tietosisältö dokumentoidaan tarkastustekniikan ja ohjelmiston osalta. Näiden tarkasteluiden pohjalta tieto viedään suunnittelijoille ja tehdään tarvittavat piirustusten muutostyöt.

Osa yrityksistä esimerkiksi Skanska on jo sitoutunut tekemään suunnitelmat pelkällä tietomallilla. Suunnittelutoimistoista voidaan mainita Sweco, joka hyödyntää tietomallintamista sen kaikissa vaiheissa suunnittelusta tarveselvitykseen, käyttöön sekä ylläpitoon. Elementtejä valmistava PARMA käyttää myös tietomallia elementti tuotannossa. (Juntunen 2021,5-7.)

3.1 3D- malli työnjohdontukena

Työnjohdon on helpompi antaa informaatiota 3D-mallin avulla rakennettavasta rakenteesta työsuorittajille. 3D-mallista on visuaalisesti helpompi havainnoida kappaleiden eri muotoja, verrattuna tasomaisiin 2D-kuviin.

Rakennusta visuaalisesti tarkasteltuna, yksi 3D-mallin suurimmista hyödyistä tulee siinä vaiheessa, kun rakennettavan kappaleen muoto alkaa olemaan monimuotoinen. 3D-kappaletta tarkasteltaessa lisää hyötyjä tulee siinä, että kappaletta voidaan tarkastella eri kulmista ja pyöritellä 360 astetta. Vastaavasti kun monimuotoinen kappale piirretään tasomaisesti 2D-mallin avulla ja kuvaa halutaan tarkastella kolmiulotteisesti, tarvitaan kappaleesta taso- ja leikkauskuvat. Suunniteltaessa vaikean muotoista ja kokoista kohdetta 2D-mallin avulla, sitä enemmän tarvitaan suunniteltavasta kohteesta leikkaus kuvia. 3D-mallilla suunnittelusta ja piirretystä mallista voidaan helposti leikata kappaletta vaaka- tai pystysuunnassa, halutun suuruuden verran.



Kuvio 1. Tietomallikuva 3D muodossa (Lapti Oy 2021)

Suunnitteluohjelmistot mahdollistavat myös kappaleille läpinäkyvyyden. Läpinäkyvyys helpottaa esimerkiksi rakenteiden visuaalista tarkastelua. Havainnoidulla voidaan poistaa kappaleiden ristiriitaisuudet tai poikkeamat valmiissa suunnitelmissa.

3.2 Tietomallintaminen työnjohdon tukena

Tietomallin käyttäminen rakennustyömaalla helpottaa työnjohdon työskentelyä. Otetaan tietomallista tarkastelun kohteeksi vaikka rakennuksen antura.

Anturasta saadaan tietomallin avulla anturan rakentamiseen liittyviä tietoja, esimerkiksi betonin määrä ja laatutietous, raudoitteen määrät ja laatu. Tietomallista voidaan vielä helposti saada teoreettiset anturan mitat ja anturan tekemiseen käytettävät muottitöiden muottineliöt.

Lisäksi tietomalli voi sisältää anturan rakentamiseen kuuluvat hinnat yksilöitynä, sekä aikataulun. Mallista on myös mahdollista saada anturan, niin sanottu käyttöikä ja kierrätystietous, mikäli se on tietomalliin lisätty.

Lyhyesti sanottuna, anturan koko elinkaari alusta loppuun, löytyy huolellisesti tehdystä ja loppuun asti suunnitellusta tietomallista.

Tarkasti tehty tietomalli rakennuksesta tai rakenteesta sekä rakennustyömaalla tietomallin mukaisesti toteutettu rakennus tai rakenne helpottaa esimerkiksi robottitekniikan käyttöä työmaalla. Robottitekniikan käyttäminen rakennusalalla on tulossa tietomallinnuksen myötä. Hiltin kansainvälisen tiedotteen mukaan, yhtiö haluaa vastata rakennusyhtiöiden kannattavuuteen, tuottavuuteen, työtyöturvallisuuteen sekä työvoiman saatavuuteen kehittämälläan Jaibotiksi nimetyllä robotilla. (Rakennuslehti 2020.)

Hiltin kehittämä Jaibot-robotti voidaan ohjelmoida tietomallitietojen perusteella, joka vähentää riskiä porata jo asennettuihin yksiköihin, kuten vesiputkiin tai sähköjohtoihin. Hiltin Jaibot-robottia ohjaa työntekijä, tietomallin tietoja käyttäen. Robotti voi sijoittaa itsensä oikeaan kohteeseen ja suorittaa porauksen tarkasti. (Rakennuslehti 2020.)



Kuva 1. Jaibot poraamassa reikää (Hilti 2020)

Rakennustyömailla robottitekniikan käyttäminen tietomallin kanssa tulee tulevaisuudessa auttamaan työnjohtoa, esimerkiksi jälkitöitä tai muutostöitä tehdessä.

3.3 3D- malli ja tietomalli työnsuorittajan apuna

Nykyään löytyy ilmaisia 3D-mallin ja tietomallin katseluun tarvittavia ohjelmia. Esimerkkinä voi mainita Dalux BIM Viewer ja Solibri Model Viewer. Edellä mainitut ohjelmat ovat ilmaisia tietomallin katseluohjelmia. Puhuttaessa ilmaisista katseluohjelmista on ohjelmissa monesti muitakin toimintoja, kuin pelkkä katselutoiminto. Ilmaiset katseluohjelmat sisältävät useita eri toimintoja, esimerkiksi voidaan ottaa mittoja rakenteista, piilottaa rakenteita, leikata rakennusta tai tehdä rakenteesta läpinäkyvä. Katseluohjelmalla voidaan myös ottaa korkoja rakenteista.

Tietomallien katseleminen ja tietomallista tarvittavien mittojen ja tietojen ottaminen ei ole nykyajan ohjelmilla kovinkaan vaikeaa. Työntekijälle, työnjohdolle ja yritykselle voi olla monessa suhteessa nopeampaa, kun työntekijä itsenäisesti katsoo tietomallista tarvitsemansa tiedon. Tietomallista katsomisen jälkeen työntekijä voi jatkaa työn suorittamista itsenäisesti, eikä tarvitse jäädä odottamaan

työnjohtajaa työkohteeseen. Työntekijän toimiessa edellä mainitulla tavalla, tietomallilla suunnitellun rakennuksen on oltava toimiva sekä ajantasainen.

Käytettäessä tieto ja 3D-mallia työmaalla, työntekijöiden yrityskohtainen perehdytys tältä osin laajenee. Työntekijöillä voi olla yrityksen antama tabletti tai puhelin ja annetulla laitteella hän voi tarvittaessa katsoa työmaasta tehtyä tietomallia. Pienemmissä yrityksissä työskennellessä, saattaa työntekijä ladata ohjelman omaan henkilökohtaiseen puhelimeen ja tätä kautta säästetään kyseisen yrityksen varoja.

Työnjohdon on myös hyvä tiedostaa, että työntekijällä ei ole suoranaista vastuuta siitä, kun hän itsenäisesti katsoo suunnitelmaa tai ottaa suunnitelmasta mittoja tai muuta vastaavaa tietoutta. Työntekijän tulee tarkistaa, että käytössä oleva suunnitelma on ajantasainen. Työnjohto on tässäkin vastuussa työntekijästään sekä hänelle annetun suunnitelman ajantasaisuudesta. Tietomallisuunnitelmasta työntekijä voi löytää helpommin hänen tarvitsemaansa tietoutta, kuin tasomaisesta 2D-kuvasta. Esimerkiksi väliseiniä rakentaessa on työntekijän 3D-mallista visuaalisesti helpompi havainnoida sähkö- ja lvi-laitteiden paikat. Maksullisen tietomallinnusohjelman hankkiminen työntekijöille työmaalle ei välttämättä ole kustannustehokasta, eikä taloudellisesti järkevää.

3.4 3D- tietomalli ja yhdistetty todellisuus työmaan valvonnan apuna

Tehtäessä rakennustöiden valvontaa rakennuskohteessa, valvontaorganisaatio voi käyttää tietomallia työnlaadun tarkastamiseen. Tietomallin tehtävänä ei ole korvata piirustuksia, suunnitelmia tai muita asiakirjoja. Tieto ja 3D-mallia käytettäessä rakennustyömaan valvonnan apuna on mallien oltava ajantasaisia ja laadukkaasti tehtyjä. Valvojalla tai valvontaorganisaatiolla, täytyy olla mallinkatselemista varten siihen soveltuva laite sekä ohjelmisto. Valvontaorganisaatiolla tarkastuskohteessa voisi yhtenä vaihtoehtona olla tabletin käyttäminen ja tabletissa olisi esimerkiksi Tekla Structures -tietomalliohjelma. Tekla Structures -tietomalliohjelmaa käytettäessä rakennuskohde on täytynyt suunnitella tietomallintamalla.

Tulevaisuudessa valvonnan apuna voitaisiin käyttää yhdistettyä todellisuutta. (MR) Rakennustyömaalla yhdistettyä todellisuutta käytetään yhdessä integroitujen yhteistyöohjelmistojen, kuten Trimble Connectin avulla. Projektiin osallistuneet eri tahot esimerkiksi suunnittelijat, arkkitehdit, laitetoimittajat, voivat jakaa suunnittelutietoa työmaan eri tahojen sekä valvontaorganisaation kanssa. Trimblen XR10 with HoloLens 2 on laitteisto, joka tukee yhdistettyä todellisuutta. (MR) Trimblen XR10 with HoloLens 2 laitetta käytettäessä valvontaorganisaation apuna voisi käyttää tähän yhdistettyyn todellisuuteen perehtynyttä konsulttia. Konsultin tehtäviin kuuluisi pitää huolta QR-koodien sijaintiverkosta ja niiden sijoittamisesta tietomalliin ja rakennukseen. (QR-koodin käyttö, kuva 8.) Tekemällä yhteistyötä valvojen kanssa, QR-koodien sijoituspaikat voidaan katsoa etukäteen.

Rakennustyömaalla yhdistettyä todellisuutta ja QR-koodia käytettäessä on valvojan helppo sijoittaa itsensä työmaalla sijaitsevaan ja tarkastettavaan kohteeseen. Laadukkaasti tehty tieto- ja 3D- malli sisältää kaiken tiedon mitä kyseinen rakennelma tai rakennus sisältää. Epätarkasti tehtyä tietomallia on valvontaorganisaation lähes mahdotonta käyttää, työmaanvalvontaan.

3.5 Ongelman tulkitseminen tietomallilla ja 2D-kuvana

Tietomallien käyttö on yleistynyt suunnittelutoimistojen sekä rakennusliikkeiden toimesta. Tietomallista saadaan yksilöityä tietoutta rakennuksessa käytettävistä komponenteista ja millä tavalla komponentit ovat sijoitettu tietomalliin. Ongelman sattua työmaalla on helppoa tarkistaa tietomallista, miten ongelmakohta on suunniteltu ja miten se on työmaalla toteutettu. Tietomallissa on laaja tietous rakentamiseen käytettävistä komponenteista. Komponentit, joita rakentamisessa käytetään, ovat selkeästi nähtävissä tietomallissa. Tietomallin avulla komponenteista saadaan nopeasti yksilökohtaista tietoutta esimerkiksi: koko, väri, paino, materiaalityyppi, hinta ja sijoituspaikka.

Eri tahojen suunnitellessa ja tehdessä tietomallia voi tietomallissa tulla myös ongelmia sekä päällekkäisyyksiä. Tietomallissa on päällekkäisyyksien havaitseminen visuaalisesti helpompaa kuin perinteisissä 2D-suunnitelmissa.

Tasomaisissa 2D-suunnitelmissa on samat tiedot kuin tietomallissa. Tiedot rakennukseen käytettävistä komponenteista ja mihin komponentit asennetaan rakennusvaiheessa, ovat 2D-suunnitelmissa usein kuitenkin erillisissä leikkaus- tai detaljikuvissa. Työmaalla sattuneessa ongelmatilanteessa tulee ongelman ratkaisua etsiä useammasta 2D-piirrustuksesta. Useamman piirrustuksen päällekkäin lukeminen on suhteellisen hidasta, verrattuna toimivaan tietomalliin, missä kaikki tietous on yhdessä tietomallisuunnitelmassa. Rakennustyömaan olosuhteissa yksinkertaisen tiedon, kuten kellarin katon alapinnan korko, on usein helpompaa katsoa paperisesta tasokuvasta kuin tietomallista.

4 VIRTUAALIMAAILMA

"Virtuaalimaailma on useimmiten kolmiulotteinen, tietokoneella luotu digitaalinen ympäristö, joka usein jäljittelee reaali maailman autenttisuutta." (ammattipeda 2013.)

"Virtuaalimaailma on tietokoneen luomaan virtuaalitodellisuuden perustuva ympäristö." (Wikipedia 2021.)

Virtuaaliympäristön yhteydessä käytettävät lyhenteet VR, AR, XR sekä MR yksinkertaistaen tarkoittavat seuraavaa:

"VR: Virtuaalitodellisuus (virtual reality) on tietokoneella luotu täysin kuvitteellinen tai todellista ympäristöä simuloiva ympäristö, jossa käyttäjä liikkuu avatar-hahmona, joko virtuaalilasien tai tietokoneen näytön kautta." (Junes 2020.)

"AR: Lisätty todellisuus (augmented reality) on näkymä, jossa todelliseen ympäristöön on lisätty tietokonegrafiikalla tuotettuja elementtejä ja tietoa (esim. ääni, sijainti, kuva, video). Näitä käyttäjä katselee läpikatseltavien näyttöjen kautta." (Junes 2020.)

"MR: yhdistetty/tehostettu todellisuus (mixed reality) ja XR: eli laajennettu todellisuus (extended reality), "jotka molemmat yhdistävät reaali maailman ja virtuaalitodellisuuden objekteja." (Junes 2020.)

"Kaikille näille käsitteille on yhteistä immersio, jolla tarkoitetaan uppoutumista toiseen todellisuuteen tai ympäristöön niin, että käyttäjä voi tuntea olevansa osa tuota ympäristöä ja toimia siinä, ei vain katsella sitä". (Junes 2020.)

4.1 Työnjohto virtuaalitodellisuudessa sekä lisätyssä todellisuudessa

Rakennustöitä tehdessä voidaan samaa aikaan hyödyntää virtuaalimaailmaa. Virtuaalinen maailma auttaa työnjohtoa havainnoimaan, miten rakennuksessa käytettävät komponentit asettuvat tai asennetaan suunnitelmien mukaisesti rakennettavaan kohteeseen oikein.

Nykyään on kuitenkin tärkeää, että sanoja virtuaalitodellisuus (VR) ja lisätty todellisuus (AR) tai yhdistetty todellisuus (MR) ei sekoiteta keskenään. Virtuaalitodellisuus on keinotekoisesti luotu ympäristö ja vastaavasti lisätty todellisuus (AR) on oikeaa todellisuutta, johon on sisälletty virtuaalista tietoutta ja yhdistetyssä todellisuudessa on näitä molempia. (MR)

Trimblen XR10 with HoloLens 2 tai Trimble SiteVisionia rakennustyömaalla käytettäessä voidaan visuaalisesti havaita poikkeamia, kun rakentamiseen käytettäviä komponentteja asennetaan rakennelmaan. Kun poikkeama havaintaan hyvissä ajoin ennen komponentin asentamista, säästetään työmaan kustannuksia sekä aikaa. Vastaavasti työn alla olevan kohteen visuaalinen tarkastelu voi nopeuttaa töiden suorittamista kohteessa.



Kuva 2. Palkkirauditus Oopsin rakennustyömaa Espoon Leppävaara. Trimblen SiteVisionilla katsottuna (NCC 2021)

Kuvassa kaksi on näkyvissä palkin harjateräkset, kun käytössä on Trimblen SiteVision. Harjaterästen sijoittelu näkyy tässä virtuaalisessa maailmassa kahdella eri värillä, vihreällä pintateräkset ja sinisellä pohjateräkset. Visuaalisesti nähtynä tämä helpottaa harjaterästen asentamista palkkiin ja samalla voidaan minimoida virheen mahdollisuus. Todellisessa maailmassa visuaalisesti eriväreillä teräkset nähtynä voidaan nopeuttaa esimerkiksi vaativia raudoitustöitä.



Kuva 3. kohteen katsomista AR-tekniikka hyväksi käyttäen. (Rakennuslehti 2021)

Virtuaalisessa ja yhdistetyssä maailmassa Trimblen SiteVisionin AR-tekniikkaa käyttäen voidaan katsoa rakennuskohdetta valmiina ennen kuin rakennuksen rakennustyöt ovat edes alkaneet. Tämä helpottaa rakennusmateriaalien sijoittamista ja varastointia rakennettavaan kohteeseen. AR-tekniikka pystyisi käyttämään myös talotehtaat. Talotehtaan edustaja voisi mahdollisen ostajan kanssa käydä etukäteen tutustumassa rakennuskohteeseen ennen aloittamista. Kohteessa taloa voitaisiin katsoa SiteVision -sovelluksella ja ostaja voisi vielä arvioida talon kokoa tai muita mahdollisia muutoksia ennen aloittamista.

4.2 Työturvallisuus virtuaalisessa maailmassa

Rakennuslehdessä 01/2019 Jussi Ketoja Trimble Connectin vastaava kertoi seuraavaa työnsuojeluun ja Trimblen XR10 with HoloLens 2 -laseihin liittyvää asiaa. Työmaat ovat tämän kaltaisille laseille haastava ympäristö, koska työmaat ovat

riittävän vaarallisia muutenkin. Myös työturvallisuuden näkökulmasta katsoen haasteeksi on todettu virtuaalisen ja todellisen maailman päällekkäisyyden näkeminen. Trimblen teknologianjohtaja Kim Nybergin mukaan tähän voisi olla ratkaisu turvakaiteiden läpikäynti ennen työntekijöiden saapumista työmaalle. (Huusko 2019.)

Työturvallisuutta kun ajatellaan virtuaalisesta näkökulmasta, se tietysti visuaalisesti poikkeaa todelliseen tilanteeseen nähden. Yleensäkin liikuttaessa rakennustyömaalla, täytyy tietysti tiedostaa ja muistaa, että työmaalla on aina olemassa vaarallisia paikkoja. Kypärän käyttäjän on kuitenkin itse tiedostettava ero virtuaalisen ja todellisen maailman välillä. Jos käyttäjällä tulee käytön aikana epätietoisuus ympäristöstä, voi käyttäjä helposti ottaa lasit silmien edestä pois ja poistua turvallisesti virtuaalisesta maailmasta.

Käyttäessäni Trimblen XR10 with HoloLens 2 laseja oli todellisen maailman havainnointi lasien takaa helppoa. Hololens-lasit istuvat kypärään todella hyvin ja omakohtainen kokemukseni kypärästä ja laseista on hyvä. Kypärään kiinnitetyt XR10 with HoloLens 2 virtuaalilasit, eivät juurikaan lisää kypärän painoa ja tämä on tärkeä asia, kun ajatellaan työskentelyn ergonomiaa. Leukaremmiin toiminnallisuus on myös huomioitu erittäin hyvin laseja ja kypärän toimintaa ajatellen. Kokonaisuutena käyttäjän kannalta ajateltuna koko paketti toimii todella hyvin.



Kuva 4. XR10 with HoloLens 2 (Geotrim Vantaa 2021)

Virtuaalisessa maailmassa voidaan tietysti vaihdella näkymää eri kerrostasojen välillä ja näkymää voidaan vaihtaa esimerkiksi arkkitehti- ja rakennekuvien kesken.

4.3 Virtuaalimaailman tuki työmaakokouksessa

Työmaa kokouksissa voidaan myös hyödyntää virtuaalista maailmaa. Etänä pidettävät kokoukset ovat nykyaikana jo arkipäivää. Kokouksissa voidaan seurata virtuaalisen maailman kautta työmaan sen hetkistä tilannetta ilman, että kaikki palaverissa olevat olisivat fyysisesti paikan päällä.



Kuva 5. Yhdistetyn todellisuuden käyttäminen työmaalla. (Rakennuslehti 2021)

Yhdistetty todellisuus voisi auttaa myös työmaakokouksessa havaitsemaan rakennustyömaalla rakenteellisia poikkeamia. Havaittuihin poikkeamiin voidaan reagoida nopeammin käyttämällä yhdistettyä todellisuutta. Rakennettavassa kohteessa kävellään ja sitä verrataan yhdistetyn todellisuuden maailmaan. Näin voidaan muutoksia tehdä asiakkaan suuntaan nopeammin. Tällä tavalla parannetaan asiakaspalvelua ja annetaan rakentajasta luotettava sekä ammattimainen kuva.

4.4 Tulevaisuudessa työnjohtaminen virtuaalisessa MR-maailmassa

Kun MR, (virtuaalinen yhdistetty todellisuus) on saavuttanut rakennustyömailla pysyvän jalansijan, työmaiden käyttäessä kokopäiväisesti MR maailmaa, voidaan vain kuvitella millaisia mahdollisuuksia työmailla olisi parantaa työn tuloksia ja tehokkuutta. Virtuaalisesti lisätty tai yhdistetty todellisuus antavat yrityksen johdolle, työnjohdolle ja työntekijöille mahdollisuuden nähdä valmiina rakennukseen liittyvät asiat jo ennen työmaan aloitusta. Esimerkiksi työmaan aloituksen yhteydessä, virtuaalinen maailma auttaa työmaan infrastruktuurin rakentamisessa. Työmaata perustettaessa on otettava useita rakentamiseen ja varastointiin liittyä asioita huomioon. Kun rakennustyömaa voidaan virtuaalisesti nähdä paikan

päällä ennen aloitusta, työmaalle on helpompi tehdä työmaan aluesuunnitelma. Aluesuunnitelma voidaan myös sijoittaa valmiiksi virtuaali- sekä yhdistetyn todellisuuden maailmaan ja tämä taas helpottaa paikan päällä tehtäviä aloitustöitä. Rakennustyömaiden siirryttyä yhä enemmän käyttämään kokouksissa etämahdollisuutta, voidaan kokouksissa käyttää lisäksi myös yhdistettyä todellisuutta.

5 VIRTUAALILASIT YLEISESTI

Virtuaalilasit, virtuaalitodellisuus lasit tai keinotodellisuuslasit lyhyesti sanottuna VR. Virtuaalilasit eivät ole mikään uusi keksintö, lasit ja päähineen kehitti 1960-luvulla Morton Heilig ja hän antoi sille nimen Telesphere Mask. Telesphere mask ei ollut interaktiivinen, mutta jo silloinen maski tosin tarjosi stereoskooppisen 3D-näkymän ja siinä oli stereoäänet. Vuonna 1993 Sega ilmoitti Consumer Electronics -ohjelmassa kehittävänsä Sega Genesis-konsolille virtuaalilasit. (Koski 2018.) Kehitys työ on jatkunut 1960-luvulta 2021-luvulle ja jatkuu edelleen. Nykyään tarjolla on paljon erimerkkisiä ja hintaisia interaktiivisia virtuaalilaseja. Käyttökohteet vaihtelevat viihdekäytöstä sotilaskäyttöön. Käyttökohteiden lisääntyessä on myös lasit muuttuneet käyttökohteen mukaiseksi ja nykyään, löytyy VR-, AR-, MR- ja XR- tyyppisiä laseja.

5.1 Trimble XR10 Yhdistetyn todellisuuden käyttö työmaaympäristössä

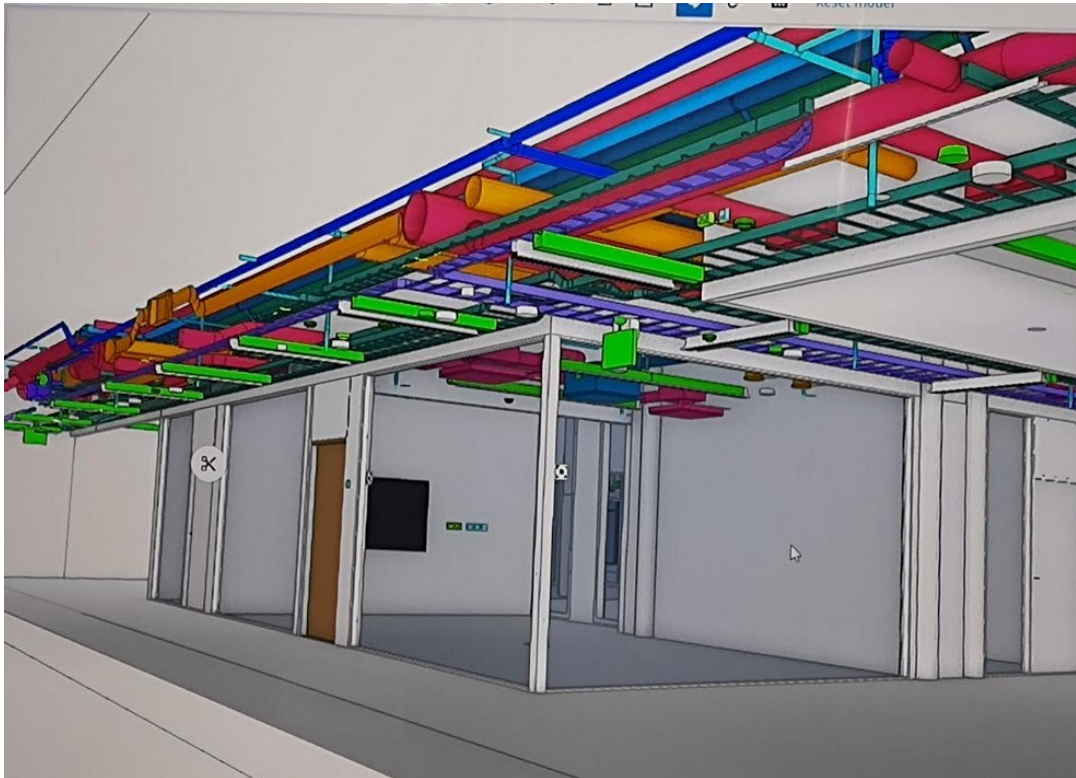
Markkinoille on tullut Trimble:ltä Trimble XR10 with HoloLens 2 -virtuaalikypärä. Virtuaalilasit ovat Microsoftin tekemät, mutta Trimble on muokannut lasit rakennustyömaille soveltuvaan käyttöön. Vuosina 2019-2020 Trimblen XR10 with HoloLens2 lasien ja kypärän kehitys ja valmistus alkoi. Vuonna 2020 Trimble aloitti Trimble XR10 with HoloLens2 markkinoinnin ulkomailla. Vuonna 2021 Building Point Finland aloitti Trimblen XR10 with HoloLens 2 markkinoimisen ja myymisen Suomessa. (Immonen 2021)



Kuva 6. TRIMBLE XR10 with HoloLens 2 (Geotrim Vantaa 2021)

Nyt voidaan puhua uudesta keksinnöstä rakennusalaan ajatellen. Trimblen XR10 with HoloLens 2 toimii rakennustyömaan todellisessa ympäristössä, missä on myös vaarallisia paikkoja.

Yksi tapa on sijoittaa Trimblen XR10 todelliseen ympäristöön on laittaa QR-koodi tietomalliin. QR-koodia kypärä käyttää paikantamiseen. Ennen paikantamista on kuitenkin QR-koodi sijoitettava työmaalla samaan kohteeseen kuin tietomallissa. QR-koodin sijoittaminen työmaalla ei vaadi mitään hienoa tekniikkaa tai siihen käytettävää laitteistoa. Yksinkertaisesti QR-koodi mitataan rullamittalla siihen kohtaan mihin se on tietomallissa sijoitettu. Mittaamisessa täytyy kuitenkin huomioida QR-koodin korko, sillä sijainnin määrittäminen korkeuden mukaan tapahtuu QR-koodin korkeuden avulla. Jos tietomallissa QR-koodi on laitettu 1000 millimetrin korkeuteen valmiin lattian pinnasta, niin QR-koodia ei kannata laittaa työmaalla 1500 millimetriin, koska silloin sijainnin määrittäminen korkeuden suhteen ei vastaa todellisuutta. Vaakamatkaa koskee samat säännöt.



Kuva 7. QR-koodi sijoitettu tietomalliin Oopsin rakennustyömaa Espoon Leppävaara. (NCC 2021)

QR-koodin asennuksen jälkeen kypärä laitetaan normaalisti päähän ja lasit lasjetaan silmille, jonka jälkeen aukaistaan valikko ja kohdistaminen QR-koodiin voi

alkaa. QR-koodiin kohdistamisen jälkeen Trimblen XR10 voi siirtyä yhdistetyn todellisuuden maailmaan. Trimblen XR10 lasesta löytyy myös sovitushmahdollisuus. Sovitusvaihtoehtoa käyttäen saadaan käyttäjän sijainti ja tarkkuus paremmaksi. Käyttäjä voi liikkua todellisessa ympäristössä, sekä virtuaalisessa maailmassa samaan aikaan. Trimblen XR10 käyttäjällä on lukuisia mahdollisuuksia rakennustyömaalla kypärän käytön suhteen. Käytettäessä Trimblen XR10:tä voidaan työmaalla liikkua yhdistetyssä todellisuudessa. Käytössä voi olla tarpeen mukaan rakennesuunnitelma tai vaikka arkkitehtisuunnitelma. Trimblen XR10 voi olla myös suorassa yhteydessä toisiin käyttäjiin tai työmaalla olevaan organisaatioon.



Kuva 8. QR-koodi Oopsin rakennustyömaa Espoon Leppävaarassa (Ncc 2021)

6 RAKENNUSMITTAUKSET YHDISTETYSSÄ TODELLISUUDESSA

Lähtökohtana rakennusmittausta tai visuaalista tarkastelua ajatellen yhdistetyssä todellisuudessa tietomallin tarkkuus, tarkistettavien yksiköiden tai komponenttien osalta. Haluttaessa tehdä mittauksia yhdistetyssä todellisuudessa MR-tekniikalla, voidaan sillä päästä senttimetrien tarkkuuteen. Takymertillä QR-koodin seinään mittaaminen millimetrin tarkkuudella, ei paranna merkittävästi yhdistetyn maailman mittaus- eikä sijaintitarkkuutta.

Rakennusmittauksia tehtäessä yhdistetyssä todellisuudessa voidaan todeta, että laitteessa käytettävä tekniikka tarkkuuden osalta ei ole riittävää rakennustyömaan mittauksia ajatellen. Tarkkuus on riittävä, kun visuaalisesti katsotaan yhdistetyssä todellisuudessa rakennukseen sijoitettavien komponenttien paikkoja. Yhdistetyssä todellisuudessa voidaan katsoa esimerkiksi elementistä aukkojen, pulttien, lätkien ja tappien määrät.

Yhdistetyssä todellisuudessa käytettäessä Trimblen XR10 voidaan kyllä osoittaa esimerkiksi putken läpiviennin sijainnin kohtaa, mutta sijainkohta ei täytä millimetrein tarkkuutta, vaan on senttimetrien luokkaa.

7 HAASTEITA TYÖNJOHDOLLE AR, MR SEKÄ TIETOMALLIA KÄYTETTÄESSÄ

Tietomalli on suurilla rakennustyömailla jo arkipäivää ja virtuaalinen ympäristö on tulossa vähitellen myös suurille rakennustyömailla. Tietomallia käytettäessä on yhtenä haasteena sen käytettävyys. Tietomallia käytettäessä työmailla työmaat käyttävät yleensä ilmaisohjelmia tai ilmaisohjelmiin verrattavia ohjelmia. Ilmaisohjelmia käytettäessä rakennusyrietykset eivät välttämättä ole kovin halukkaita investoimaan maksullisiin suunnittelu- tai tietomallintyyppisiin ohjelmiin. Investoidessa tietomalliohjelman rakennusliike voi joutua palkkaamaan sellaista henkilökuntaa, joka osaa käyttää ostettua ohjelmaa. Uuden henkilökunnan palkkaamisen voi tietysti välttää kouluttamalla yrityksen omaa henkilökuntaa ohjelman käyttöä ajatellen. Haasteita tuo myös rakennusalalla työvoiman liikkuvuus ja rakennusliikkeiden useat työmaat. Haasteita työnjohdolle saattaa tulla myös käytettävien suunnitteluohjelmien yhteensopivuudesta ja laitteista, joita työnjohto käyttää päivittäisessä työssään. Tietomallin käytön lisääntyessä muutosten tekeminen suunnitelmiin on myös muuttunut. Työnjohdolle voi tulla yhtenä haasteena myös tietomallissa käytettävän tiedon vähyys. Rakennetietomalliin ei ole mallinnettu esimerkiksi raudoituksia.

Virtuaalinen, lisätty tai yhdistetty todellisuus on suhteellisen uutta teknologiaa rakennustyömailla. Virtuaalista, lisättyä tai yhdistettyä todellisuutta kehitetään koko ajan rakennustyömaaolosuhteita ajatellen, mutta kuitenkin virtuaalimaailmaa ohjaa peliteollisuus. Virtuaalisen todellisuuden tuleminen rakennusalalle on kuitenkin välttämätöntä. Rakennusala on vanhoillinen ja hitaasti muuttuva ala, osaksi johtuen siitä, että rakentaminen on sään armoilla tapahtuvaa toimintaa. Rakennusala verrattaessa esimerkiksi autoteollisuuteen, autoteollisuus toimii suurissa halleissa ja hallin sisällä työskentely tapahtuu liukuhihnalla. Rakennusliike ja sen sisällä toimiva rakennustyömaa on kuin liikkuva tuotantolaitos, erona kuitenkin autoteollisuuteen on ympäristössä alati muuttuvat olosuhteet.

Lisätyn ja yhdistetyn todellisuuden tuleminen rakennusalle tuo myös omat haasteensa työnjohtoa ajatellen. Työnjohdon täytyy olla perillä hyvin uudesta teknologiasta ja osata vastata myös teknologian tuomiin haasteisiin.

8 POHDINTA

Opinnäytetyötä aloittaessa mietin millä tavalla rakentaminen, suunnitteluohjelmat ja työnjohtaminen on muuttuneet ja muuttuvat lähivuosikymmenen aikana. Tietomalliohjelmistot kehittyvät ja virtuaalinen maailma sen mukana. Minä en tee laskelmaa, miten kustannustehokasta tai kustannustehotonta virtuaalimaailman käyttäminen tai tietomallin käyttäminen rakennustyömaalla on, siitä voi jokainen tehdä omat laskemansa ja johtopäätöksensä.

NCC on rakennusliikkeenä Suomessa ottanut valtavan askeleen OOPSin Leppävaaran Hatsinanpuistoon sijoittuvalla työmaalla, kun he NCC:n digi-insinööri Eero-Pekka Piipposen johdolla ottivat käyttöön Trimble XR10 -kypärän Microsoftin HoloLens 2 -laseilla. Lasit käyttävät yhdistettyä todellisuutta MR. Työmaalla oli myös käytössä Trimblen SiteVision, SiteVision käyttää lisättyä todellisuutta AR. Käytettäessä uusinta tekniikka tulee aina eteen haasteita ja vastoinkäymisiä. Tulokset eivät koskaan tule näkyviin yhdellä tai kahdella työmaalla, mutta teknologiaa käytettäessä työmaalta toiselle, sen käytettävyys paranee ja työntuottavuus sekä tehokkuus lisääntyvät.

Infrarakentaja Kreatelle koneohjaukset ja tietomallit ovat arkipäivää. Yrityksellä oli käytössä Trimblen SiteVision Tarvonsillalla Espoossa. SiteVisionin avulla he tutkivat lisätyn todellisuuden mahdollisuutta (AR) käyttöä Tarvonsillan rakentamisessa. Hyötyjä havaittiin selkeästi käytettäessä lisättyä todellisuutta, vaikka lisätyn todellisuuden käyttö yrityksen sisällä ei ole toistaiseksi levinnyt laajemmin käyttöön. Kreate aikoo jatkaa SiteVisionin kaltaisten laitteiden tutkimista sekä lisätyn todellisuuden hyötyjen selvittämistä.

Ensimmäinen mahdollisuus nähdä Trimblen XR10 HoloLens 2 kypärä oli Geotrim Oy:n tiloissa Vantaalla. Siellä tutkiessamme kypärää ja sitä kokeillessamme saatiin vain ihmetellä, että miten kypärä toimisi työmaaolosuhteissa.

Aikaisempi kokemus VR käytöstä tulee pelimaailmasta. Pelimaailmassa olen käyttänyt vain PlayStation VR laseja PlayStation 4 -pelikonsolin kanssa.

Henkilökohtainen mahdollisuus käyttää Trimblen XR10 HoloLens 2 -kypärää työmaaolosuhteissa tarjoutui NCC:llä työskentelevän digi-insinööri Eero-Pekka

Piipposen johdolla, NCC:n Espoon OOPSin työmaalla. Eero Pekan ohjeistuksen mukaan aloitimme kypärän käytön työmaalla. Kun yhdistetty todellisuus aukesi eteen, niin kyllä sain hetken ihmetellä, että mihin kaikkeen teknologia pystyy, vaikka olin aikaisemmin käyttänyt VR-laseja, ero oli huomattava VR:n tuomaan maailmaan nähden. Käyttäessäni Trimblen XR10 -kypärää oli hienoa nähdä, miten yhdistetty todellisuus toimi todellisessa ympäristössä. Todellisessa ympäristössä voitiin vaihdella eri suunnittelijoiden tekemiä suunnitelmia ja nähdä sitten niiden toimivuus todellisessa maailmassa.

Rakennustyömaalla toimiessani mittaustyönjohtajana ja välillä rakennuspuolen työnjohtajana käytän työssäni tietomallia. Käyttäessäni tietomallia rakennustyömaalla olen huomannut, miten eri suunnittelijoiden tekemät tietomallit poikkeavat tietojen osalta toisistaan. Tietojen poikkeavuuteen voi tietysti vaikuttaa monet sopimustekniset syyt. Tietomallista on nopea tarkistaa rakennukseen liittyviä asioita, liittyvät ne sitten mittaukseen tai työnjohdollisiin tehtäviin.

LÄHTEET

Aatsalo, J. 2020. Hilti kehitti puoliautonomisen robottiporan. Viitattu 15.11.2021
<https://www.rakennuslehti.fi/2020/11/hilti-julkisti-ensimmaisen-robotinsa/>.

Building Smart international 2021. Viitattu 10.11.2021
<https://buildingsmart.fi/yleiset-tietomallivaatimukset-ytv/>.

Building Point Finland 2021. Lisätty ja yhdistetty todellisuus rakennustyömaalla-
Enemmän kuin hienoa teknologiaa. Viitattu 12.11.2021
<https://www.rakennuslehti.fi/mainos/lisatty-ja-yhdistetty-todellisuus-rakennus-tyomaalla-%e2%94%80-enemman-kuin-hienoa-teknologiaa/>.

Huusko, M. 2019. Tietomallit tulevat virtuaali- ja lisätyn todellisuuden laseihin.
Viitattu 5.11.2021
<https://www.rakennuslehti.fi/2019/01/tietomallit-tulevat-virtuaali-ja-lisatyn-todellisuuden-laseihin/>.

Immonen, K. 2021 Geotrim Oy. Tuki- ja koulutuspäällikön haastattelu
1.11.2021.

Junes, S. 2020. Digimentorit, Vierailulla virtuaalimaailmassa.
<https://sites.tuni.fi/digimentorit/yleinen/vierailulla-virtuaalimaailmassa/>.

Juntunen, M. 2021. Tietomallintamisen perusteet-2021-4.
<https://moodle.eoppimispalvelut.fi/course/view.php?id=9458>.

Kautto T. Betoni 1/2012. BEC2012-Elementtisuunnittelun mallinnusohje.
YTV2012 osa5: Rakennesuunnittelu. https://betoni.com/wp-content/uploads/2015/09/BET1201_40-43.pdf.

Koski, N. 2018. Virtuaalitodellisuuden kehitys. Hämeen Ammattikorkeakoulu.
Tietotekniikan koulutusohjelma. Ammattikorkeakouluntutkinnon opinnäytetyö.
https://www.theseus.fi/bitstream/handle/10024/147499/koski_nina.pdf?sequence=1&isAllowed=y.

Opetushallitus, 2013. Virtuaalimaailmat.
<http://www10.edu.fi/ammattipeda/?sivu=virtuaalimaailmat>.

Rakennustarkastusyhdistys RTY. 2021. Viitattu 9.9.2021
<https://www.rakennustarkastusyhdystysry.fi/uutiset.html?201713>.

Rakennuslehti. 2020. NCC otti Trimblen virtuaalikypärän rakennustyömaakäyttöön. Viitattu 7.10.2021
<https://www.rakennuslehti.fi/2020/12/ncc-otti-trimblen-virtuaalikyparan-rakennustyomaakayttoon/>.

Wikipedia. 2021. Virtuaalitodellisuus. Viitattu 9.10.2021
<https://fi.wikipedia.org/wiki/Virtuaalitodellisuus>.