Betonin 3D-tulostusta Thomas More’n ammattikorkeakoulussa

7.4.2022

Osallistuin 15-17.3.2022 SeAMKin avainkumppanin Thomas More University of Applied Sciences’in 17. Kansainvälisyyspäiville Kempen’in kampuksella, Geelissä, Belgiassa. Tämä ammattikorkeakoulu on toiminnoiltaan hyvin vastaava kuin SeAMK, mutta opiskelijamääriltään se on noin kolminkertainen SeAMKiin nähden ja samalla Belgian suurin ammattikorkeakoulu.

Minun osaltani tämä olikin jo kolmas kerta, joten he tiesivät hyvin, kenelle kutsun lähettivät. Thomas Moren rakennustekniikan koulutuspäällikkö Sofie Mols oli vierailulla SeAMKissa edellisenä vuonna ja neuvottelimme erään heidän opiskelijansa mahdollisesta tulosta SeAMKiin harjoitteluun, ja Sophien kiinnostus heräsi silloin esillä olleeseen aiheeseen, josta nyt kävin pitämässä heille kaksoisluennon. Minua puolestaan kiinnosti erityisesti nähdä Thomas Moren iso kehitysprojekti liittyen betonin 3D-tulostukseen, josta tässä nyt enemmän.



Projekti uuden teknologian tietotaidon levittämiseksi ja markkinapotentiaalin kartoittamiseksi

3D concrete printing project KIEM toteutettiin käytännössä noin puolen tunnin ajomatkan päässä Kempen’in kampukselta, KAMP C Westerlo -alueella, joka on aikoinaan ollut sotilaskäytössä. Nyt sinne on keskitetty monenlaista koerakentamista, muun muassa rakennusten uusiutuvan energian käyttöön liittyviä koerakennuksia.

Tämän betoniprojektin nimessä lyhenne KIEM tulee sanoista ”Knowledge sharing – Inspiration – Elimination barriers – Market introduction”. Monisanaiset kuvaukset projektin tavoitteista voi lyhyesti tiivistää siihen, että tavoitellaan tähän uuteen teknologiaan liittyvän tietotaidon levittämistä laitteistotuntemuksen, tutkimuksen, suunnittelun ja valmistuksen osalta sen jalkaannuttamiseksi kentälle ja käytäntöön, sekä markkinapotentiaalin kartoittamiseksi Flandersin alueella. Samalla tavoitellaan rakennustyön tehokkuuden kasvattamista verrattuna

perinteellisiin rakennustapoihin.

Projektin ylimmäisenä valvojana oli maakunnallinen Center of Durability and Innovation in Construction. Muut projektin osalliset tutkimuksen ja teollisuuden osallistujat olivat Ghent University, Thomas More University, Van Roey, Beneens, Trias architects, ETIB nv/Concrete House and ViCre. Projekti on saanut EU-rahaa 668.320 euroa ja Antwerb'in maakuntahallituksen rahoitusta 723.495 euroa.

Projektia oli esittelemässä dosentti Koen Boeckx Thomas Morelta. Noin 2,5 vuoden mittainen projekti piti alkuperäisen aikataulun mukaan päättyä marraskuun lopussa 2020. Koetalo saatiinkin valetuksi sen vuoden kesällä, mutta erinäisten projektin alkuun ja myöhemmin Covidiin liittyvien viivästysten vuoksi aikataulu oli siirtynyt ja projektin viime vaiheet olivat vielä käsillä. Naapurimaa Ranska on byrokratian syntymaa ja luvattu maa, ja tällä tuntuu olevan vahvat heijastuksensa myös Belgian puolelle. Sen olemme havainneet Seinäjoellakin Belgialaisten harjoittelijoiden raportointivelvollisuuksien muodossa omalle opinahjolleen. Tässä projektissa byrokratia näkyi siinä, että Thomas Morella oli vaikeuksia irrottaa omia opiskelijoitaan muista opinnoistaan työskentelemään tähän projektiin ja varsinaisen työn aloittaminen viivästyi tästä syystä.

Massan ominaisuuksien hallinta keskiössä

Laitteiston perustana oli yksinkertainen lineaarinen XYZ-liikeradat hallitseva teollisuusrobotti. Kääntöliikkeitä ei tarvittu, sillä tulostus tapahtui aina maan vetovoiman suuntaisesti ylhäältä alaspäin ja kolmen suunnan koordinaattien hallinta oli koneen numeeriselle ohjaukselle riittävä navigointi. Robotti näkyy oheisessa kuvassa, mutta itse tulostuspää oli siitä irrotettuna erillään puhdistuksen ja huollon vuoksi. Hallissa oli lattialla olevat levyn päälle tulostettu jonkinlainen kehärakennelma. Menetelmä tarvitsee siis aina alapuolisen muotin, jota päin voi tulostaa, eli ilmassahan mikään ei itsestään pysy, eikä pysähdy. Kauempana lattialla oli laite, joka sekoitti tulostettavan betonimassa valmiista kuivatuotteesta ja vedestä.





Tuoreen massan ominaisuudet tulee olla erittäin tarkasti hallinnassa, jotta tulostus onnistuu. Suurin raekoko, mitä koeprojektissa oli kokeiltu, oli 8 mm. Noin karkealla massalla suutin kuulemma tukkeutuu ja siksi he käyttävät yleensä paljon pienempiä raekokoja. En alkanut tivaamaan ihan tarkkaa arvoa, mutta eräästä muusta tutkimuksesta löysin, että optimaalinen maksimiraekoko oli siinä tutkimuksessa 0,7 mm (Rahul, A. V. & Santhanam, Manu & Meena, Hitesh & Ghani, Zimam. (2018). 3D printable concrete: Mixture design and test methods. Cement and Concrete Composites.). Tuossa tutkimuksessa käytettiin Portland-sementtiä, 10 % silikaa ja 0,1 % notkistinainetta ja 0,1 % polymeerikuituja. 0,1-0,3 % nanosavea pienensi mitattujen suureiden hajontaa.

Tutkimuksessa mainittiin sopivaksi vesisementtisuhteeksi 0,30-0,32 ja runkoainesementtisuhteeksi 0,40. Tuolla reseptillä päästiin 60 MPa puristuslujuuksiin ja massan ominaisuudet olivat sellaiset, että tulostus toimi moitteettomasti ilman suuttimen tukkeutumista. Noin hienojakoisen massan huonona puolena on suuri kutistuma, mutta polymeerikuiduilla sitä saatiin paremmin hallintaan.

Betoni tulostetaan tyypillisesti noin tuuman paksuisina kerroksina, joiden leveys on arviolta 40-80 mm. Hyvin optimoitu resepti varmistaa massan koossapysyvyyden ja työnaikaisen kantavuuden, kun kerroksen tulostusvälinä pidetään noin 15 minuuttia. Tällä tyylillä tulostetaan tyypillisesti noin metrin korkuinen ”patteri”, jonka jälkeen tulee työsauma, ja betonin kovetuttua riittävästi jatketaan taas ylöspäin. Paikan päällä oli runsaasti erilaisia kokeilumuotoisia betonituotteita, lähinnä jonkin sortin puistokoristeita tai ulkokalusteita. Jotain vähäistä kokeilua lukuun ottamatta näissä tuotteissa ei ollut raudoitusta lainkaan.





Kokonainen talo 3D-tulostettuna

Perustekniikan kokeilun jälkeen projektissa alettiin työstää isompaa haastetta eli ilmeisesti Euroopan ensimmäistä kokonaista 3D-tulostamalla valmistettua kaksikerroksista taloa. Seinärakenteesta suunniteltiin hieman paksua harkkorakennetta muistuttava onteloseinä. Ulko- ja sisäkuorta piti yhdessä betonista tulostettu diagonaalirakenne. Ontelo-osa täytettiin lämpöeristeellä, joka näytti kevyesti murskatulta Leca-soralta. Ikkuna- ja oviaukot olivat vain reilun metrin levyisiä ja ne ylitettiin kantatun peltilevyn varassa.

Itse betonirakennehan oli siis paljon lujempaa betonia, kuin harkoissa yleensä käytetään. Betonin kutistumasta ja vetovoimista johtuen rakenteessa havaittiin joissakin kohtia pieniä halkeamia. Välipohja ja

katto tehtiin perinteisin ratkaisuin puurakenteisena. Näillä periaatteilla mahdollistettiin helposti tulostettavan raudoittamattoman rakenteen valmistus.

Talon tulostus toteutettiin paikan päällä työmaalla ja sitä varten, tulevaa rakennusta ympäröimään, pystytettiin ristikkorakenteinen teollisuusportaali, jonka kannattamana itse tulostin liikkui.



Oman vaikutelmani mukaan tällaisen tulostusmenetelmän suurimmat haasteet ovat vielä kehittämättä jäänyt raudoitusmenetelmä sekä lämmöneristyksen haasteet pohjoisilla leveysasteilla. Raudoituksen puuttuminen rajoittaa käytön pariin kerrokseen ja paremman lämmöneristyksen puuttuminen rajoittaa menetelmän käytön täkäläisissä rakennuksissa vain kesäkäytössä oleviin rakennuksiin ja muihin vastaaviin, joissa lämmöneristykselle ei ole suuria vaatimuksia niin kuin asuin- ja toimistorakennuksille normeissa asetetaan.

Huvipuistoihin tällä menetelmällä sen sijaan voisi luoda mielenkiintoisia menninkäiskyliä. Jonkinmoisen haasteen asettaa myös käytetyn numeerisen ohjausmenetelmän tarkkuus. Se aiheuttaa tulostuspintoihin tahatonta geometrista kuviointia. Ohjausjärjestelmän bittimäärän kasvattaminen ehkä auttaisi asiaa.





Jossain mielessä tätä menetelmää voidaan verrata myös ruiskubetonointiin ja ruiskuvaluun. Ruiskubetonoinnissa ruiskuttamisessa käytetään paineilmaa, mikä tuottaa betonin joukkoon ilmaa ja aiheuttaa rakenteelle lamellimaisuutta ja rajoittaa sen käyttöä kantaviin rakenteisiin. Ruiskuvalussa, kauppanimeltään Betemi, tämä ongelma poistettiin betonin mekaanisella ’läiskimismenetelmällä’. Betonista tuli joka suuntaan yhtä lujaa ja sitä voitiin hyödyntää kantavana rakenteenakin. Valmistusmenetelmä antoi hyvät mahdollisuudet erityisesti pyöreiden, värikkäiden ja hiottujen pilarien valmistukseen. Allekirjoittanut työskentelikin jo 30 vuotta sitten tuossa projektissa laatien noille pilareille ensimmäisen suunnitteluohjeen. Betemin menetelmää kokeiltiin tuolloin myös suorien seinien sandwich-elementtien valmistukseen, mutta kokeiluissa ei päästy teknistaloudellisesti tyydyttävään tulokseen. Nämä kaikki kolme, jossain määrin toisiaan muistuttavaakin menetelmää sopivat kukin omanlaisiinsa käyttökohteisiin ja voivat jopa täydentää toisiaan.

Korviini ei ole kantautunut, että Suomessa kukaan olisi lähtenyt tekemään ainakaan täyden mittakaavan kokeiluja betonin 3D-tulostuksesta. Olisikohan SeAMK:lla kiinnostusta lähteä vastaavaan tietotaidon lanseerausprojektiin, kuten Belgiassa on tehty? Lähitienoilla voisi olla sopivia yrityksiäkin, joiden profiiliin tällainen projekti voisi sopia. Näissä yhteyksissä on maailmalla hyödynnetty kaivosjätteitäkin, joita täältä päinkin löytyy ja eräät jopa tutkivat sitä betonin valmistuksen yhteydessä, jolloin voidaan saavuttaa vähennyksiä hiilidioksidipäästöissä.

Jorma Tuomisto
laboratorioinsinööri
SeAMK