

PELITEKNOLOGIOIDEN HYÖDYNTÄMINEN RAKENNUSALAN SUUNNITTELUPROSESSEISSA

Henri Riissanen, Juha Ojala, Jukka Selin, Terhi Lahtinen
& Timo Partala

Maailmalla on ilmennyt tarvetta nykyistä paremmalle suunnitelmien havainnollistamiselle alasta riippumatta. Nykyaikaiset peliteknologiat mahdollistavat erilaisten suunnitelmien kolmiulotteisen visualisoinnin ja havainnollistamisen aivan uudella tasolla. Esimerkiksi rakennusalalla suunnitelmien parempi havainnollistaminen yhdessä moninpelien kaltaisten pelitekniikoiden kanssa mahdollistaa paremman suunnittelijoiden ja käyttäjien välisen vuorovaikutuksen heti projektien alusta lähtien. Tämä taas tuottaa paremmin käyttötarkoitukseensa soveltuvia rakennuksia ja tyytyväisempiä käyttäjiä. Tämä artikkeli esittelee Kaakkois-Suomen ammattikorkeakoulun (Xamk) yhdessä yrityskumppaneidensa kanssa toteuttamia TKI-hankkeita, joiden kohteena on ollut ensisijaisesti rakennusalan suunnittelumenetelmien kehittäminen pelitekniikoita hyödyntäen.

Rakennusalan kehittyminen digitalisaatiossa

Rakennuksen suunnittelussa ja elinkaaren eri vaiheissa tarvitaan useamman eri alan ja toimijan asiantuntemuksen yhdistämistä. Tarvitaan muun muassa rakennussuunnittelua, rakennesuunnittelua, sähkösuunnittelua ja LVI-suunnittelua. Nykyisin rakennussuunnittelussa on laajalti siirrytty kolmiulotteiseen suunnitteluun ja tietomallinnukseen. Tietomallinnusta

Riissanen, H., Ojala, J., Selin, J., Lahtinen, T. & Partala, T. 2024. Peliteknologioiden hyödyntäminen rakennusalan suunnitteluprosesseissa. Teoksessa Rajahonka, M. & Haapaniemi, H. (toim.) Luovia menetelmiä ja älykkäitä ratkaisuja. Digitaalisen talouden vahvuusalajulkaisu 2023. Mikkeli: Kaakkois-Suomen ammattikorkeakoulu, 250–261. <https://urn.fi/URN:ISBN:978-952-344-568-0>

kutsutaan yleisesti nimellä BIM (Building Information Modeling). BIM on kehitetty parantamaan ja tehostamaan yhteistyötä eri toimijoiden välillä. Perusajatuksena on pitää kaikki rakentamista koskevat tiedot loogisesti yhdessä paikassa. Tietomalli voi palvella kohteen suunnittelua ja rakentamista, mutta sitä voidaan ylläpitää ja hyödyntää myös koko kohteen elinkaaren ajan. Tällöin se voisi toimia käyttöliittymänä esimerkiksi rakennuksen valvontaan ja ylläpitoon. (Selin 2021.)

Tutkimukset ovat osoittaneet, että kohteiden kolmiulotteinen mallintaminen kannattaa. Kohteiden esittely kolmiulotteisesti helpottaa huomattavasti ymmärrystä kohteesta ja parantaa tätä kautta eri toimijoiden välistä yhteistyötä rakennuksen elinkaaren kaikissa vaiheissa aina suunnittelusta ylläpitoon (Hilfert & König 2016). Nykyisin rakennussuunnittelu toteutetaan yleensä kolmiulotteisena, ja osana kohteen tietomallia luodaan rakennuksen erilaiset 3D-mallit. Yksi tällainen osamalli on arkkitehtimalli, joka kuvaa kohdetta arkkitehtisuunnittelun näkökulmasta. Luonnollinen jatke tietomallinnukselle on tietomallin pelillistäminen. Pelillistämällä tarkoitetaan pelinkehitysmenetelmien ja välineiden hyödyntämistä muussa kuin pelikontekstissa. Konteksti voi olla esimerkiksi rakennusten suunnittelu ja rakentaminen sekä tätä kautta suunnitelmien havainnollistaminen. (Seaborn & Felsh 2015.)

Tietomallin pelillistäminen sisältää yleensä ainakin vapaan liikkumisen rakennuksessa, mutta siihen voi liittyä monia muita ominaisuuksia, jotka tukevat kohteen suunnittelua, visualisointia ja ylläpitoa. Monet CAD-ohjelmistot sisältävät jo nykyisin yksinkertaiset pelillistämisen työkalut. Jos pelillistäminen toteutetaan pelimoottoreiden eli pelien kehittämiseen tarkoitettujen ohjelmistojen avulla, saadaan pelillistettyyn tietomalliin toteutettua juuri halutun kaltaiset ominaisuudet. (Selin 2021.)

Xamkin TKI-hankkeissa on kehitetty ideoita ja menetelmiä esimerkiksi rakennuksen tietomallin pelillistämiseksi ja pelillistetyn tietomallin hyödyntämiseksi rakennuksen elinkaaren eri vaiheissa suunnittelusta aina rakennuksen ylläpitoon asti. Merkittävimpiä aihealueita ovat muun muassa suunnittelun havainnollistaminen ja joukkoistaminen, tilantarpeiden mitoitus, erilaiset simuloinnit, esteettömyys ja turvallisuus sekä tekoälyn hyödyntäminen. Tätä tutkimus- ja kehitystyötä on tehty pääasiassa VR- eli virtuaaliodellisuus- ja AR- eli lisätyn todellisuuden ympäristöissä nykyaikaisia pelimoottoreita ja pelitekniikoita hyödyntäen. Pääasiallisena menetelmänä on ollut kehitettyjen ideoiden ja menetelmien soveltuvuuden testaaminen käytännössä erilaisten pilotointien ja sovellusprototyyppien avulla yhdessä hankkeiden yhteistyökumppaneidemme kanssa.

Kehitystyötä on toteutettu vuodesta 2015 lähtien viidessä erillisessä hankkeessa ja se jatkuu edelleen ProRak-hankkeessa. Hankkeiden yhteenlaskettu arvo on noin kaksi miljoonaa euroa. Ensimmäinen näistä hankkeista oli VaddD (Value Add Data), jonka tavoitteena oli tutkia kehitetyn toiminnallisen suunnittelun menetelmän (Functional Design Method, FDM) kaupallista potentiaalia. Lisäksi hankkeessa toteutettiin muun muassa VaddTool-ohjelmistotyökalun prototyyppi. Työkalu mahdollistaa toiminnallisen suunnittelun menetelmän mukaisten ja rakennusalan ISO-standardin mukaista IFC-formaattia (Industry Foundation Classes) tukevien 3D-tilaobjektien luonnin, ylläpidon ja arkistoinnin.

Toinen hanke oli nimeltään RedHal (Rakennuksen elinkaaren aikaisen datan hallinta, 2016–2018), ja siinä keskityttiin kehittämään tietomallin pelillistämiseen liittyviä menetelmiä ja prosesseja. Lisäksi hankkeen osana toteutettiin RedHal-mobiilisovelluksen prototyyppi Android-laitteille. Tämän sovelluksen oikeudet omistaa tällä hetkellä Rakennusliike U. Lipsanen, joka oman käyttönsä lisäksi kehittää sovelluksesta kaupallista versiota.

Kolmas hanke oli Virrake (Virtuaalinen rakentaminen, 2017–2019), jonka tavoitteena oli tutkia ja kehittää tietomallien pelillistämistä edelleen. Hankkeen aikana toteutettiin myös Virrake-sovellusalusta, joka on muun muassa tietomallien pelillistämiseen soveltuva tutkimusalusta moninpeilitukseen ja kommunikointivälineineen. Virrake-sovellusalusta on suunniteltu toimimaan työpöytä- ja VR-sovelluksena.

Neljäs hanke oli nimeltään OpRake (Oppiva rakentaminen, 2020–2022). Siinä jatkettiin edellisten hankkeiden tutkimus- ja kehitystyötä edistämällä muun muassa digitaalisten kaksosten, tekoälyn, big datan ja lisätyn todellisuuden hyödyntämistä rakennusalalla. Viides, ja meneillään oleva hanke on ProRak (Digitaaliset teknologiat rakennusprosessien uudistajina, 2023–2024). ProRak-hankkeen tavoitteena on edistää muun muassa uusimpien rakentamisen prosesseja tukevien digitaalisten teknologioiden kehittämistä, käyttöönottoa ja hyödyntämistä Etelä-Savossa. Näitä ovat muun muassa rakennusten digitaaliset kaksoset, joita voidaan toteuttaa esimerkiksi edistyneimmillä pelimoottoreilla, lisätyn todellisuuden teknologiat ja virtuaalitekhnologiat sekä erilaiset simulaatiot ja data-analytiikka. Rakennusalan merkittävin yhteistyökumppanimme on ollut kaikkien edellä kuvattujen hankkeiden osalta Rakennusliike U. Lipsanen.

Suoritettut toimenpiteet, käytetyt menetelmät ja saavutetut vaikutukset

Virtuaalisen rakentamisen alusta – Virrake

Virrake on Kaakkois-Suomen ammattikorkeakoulun TKI-hankkeissa kehitetty rakennussuunnittelun pelillistämisen tutkimusalusta. Virrake-alusta on syntynyt osana pitkää kehitystyötä, jonka aikana tavoitteena on ollut tutkia ja kehittää ratkaisuja siihen, miten peliteknologioita voidaan tehokkaasti hyödyntää rakennusalan suunnittelu- ja kehitysprosesseissa.

Virrake mahdollistaa rakennusten tietomallien pelillistämisen. Alustalle tuodut kohteet muuttuvat interaktiiviseksi peliympäristöksi, jonka sisältöä on mahdollista tutkia ja manipuloida. Virrake on kehitetty käyttämällä Unreal Engine 5 -pelimoottoria, mikä tarkoittaa, että sen perusominaisuudet ammentavat voimansa pelimoottorin tarjoamasta toiminnallisuudesta. Pelimoottorin mahdollistamia toiminnallisuuksia ovat muun muassa realistisen valaistuksen sekä tekstuuri tuottaminen. Nämä ovat tärkeässä roolissa todenmukaisen kokemuksen luomisessa käyttäjälle.

Virrakkeen perusideana on, että se toimii samaan tapaan kuin perinteiset pelaajahahmon näkökulmasta kuvatut videopelit. Tutkimalla kohdetta pelihahmon näkökulmasta ympäristö on mahdollista nähdä niin kuin käyttäjä olisi itse paikan päällä. Käyttäjä voi liikuttaa pelaajahahmoaan käyttämällä joko näppäimistöä ja hiirtä tai vaihtoehtoisesti VR-laseja. VR-laseja käytettäessä oikean maailman ympäristö suljetaan kokonaan pois ja vaikutelma virtuaalisessa ympäristössä olemisesta on vieläkin suurempi.

Virrakkeeseen tuodut kohteet muokkautuvat automaattisesti "Virrake-yhteensopiviksi". Tämä tarkoittaa, että käyttäjä voi manipuloida kohteessa olevia esineitä, kuten ovia, painikkeita ja vipuja. Tämä mahdollistaa laitteiden toiminnan simuloimisen. Voidaan esimerkiksi kokeilla, avautuvatko ovet oikealla tavalla tai mahtuvatko esineet, kuten sänky, kulkemaan ovikarmien välistä.

Virrakkeeseen on toteutettu moninpeliominaisuudet, mikä mahdollistaa esimerkiksi suunnittelun joukkoistamisen. Mitä tahansa virtuaalikohdetta on mahdollista tutkia joko yksin tai yhdessä muiden käyttäjien kanssa. Kaikilla käyttäjillä on oma pelihahmo, jonka ulkonäkö perustuu käyttäjän rooliin (Kuva 1).



Kuva 1. Virtuaalinen taloesittely meneillään. (kuva: Juha Ojala)

Yhteissuunnittelu 3D-ympäristössä mahdollistaa uudenlaisia suunnittelu- ja yhteistyömenetelmiä niin työntekijöiden kuin myös asiakkaiden välillä. Kaikki Virrakkeessa tehdyt toiminnot näkyvät muille käyttäjille. Tämä tarkoittaa, että huoneita voidaan esimerkiksi sisustaa yhdessä. Kohteessa voidaan myös tehdä erilaisia mittauksia tai vaikkapa piirroksia, tai niihin voidaan jättää viestejä muiden käyttäjien nähtäviksi.

Työkalupakki on myös osa Virrakkeen tarjoamia ominaisuuksia. Työkalupakki sisältää useita työkaluja, joilla virtuaalimaailmaa voidaan manipuloida tai tutkia. Pakin avulla voidaan aktivoita työkalut, kuten mittaus, piirtäminen tai palautteen antaminen. (Kuva 2.) Työkaluja kehitetään jatkuvasti lisää ja ne ovat automaattisesti yhteensopivia kaikkien kohteiden kanssa. Virrakkeen yhteistyö- ja työkaluominaisuuksia on esitelty tarkemmin kansainvälisessä FICC 2020 -konferenssissa julkaistussa artikkelissa (Ojala ym. 2020).



Kuva 2. Mittaustoimenpide kellaritiloissa. (kuva: Juha Ojala)

Käytännön esimerkki Virrakkeen hyödyntämisestä joukkoistamisessa voisi olla esimerkiksi seuraavanlainen: Kaupunki on rakentamassa uutta puistoaluetta. Suunnittelusta vastaava henkilö miettii, mikä olisi paras puiston pohja-asetelma. Kaupungin hallinto on saanut useita tarjouksia sekä esimerkkejä siitä, miltä puisto voisi näyttää. Kaupunginjohtaja päättää, että annetaan päätösvalta puiston tuleville käyttäjille eli tavantallaajille. Puiston tyhjä malli tuodaan Virrakkeeseen virtuaalipuistona, ja alustan äänestystyökaluja käyttämällä virtuaalimaailmaan voidaan luoda äänestysvaihtoehdot puiston eri pohja-asetelmista.

Virtuaalipuistoon kirjautuneet käyttäjät voivat liikkua ympäristössä ja tarkkailla reaaliajassa erilaisia puistovaihtoehtoja ja äänestää niiden välillä itselleen mieluisinta vaihtoehtoa. Tuloksia voidaan tarkastella Virrakkeen mukana tulevan nettikäyttöliittymän kautta. Tällä tavoin tulevien käyttäjien toiveet voidaan huomioida päätöksenteossa.

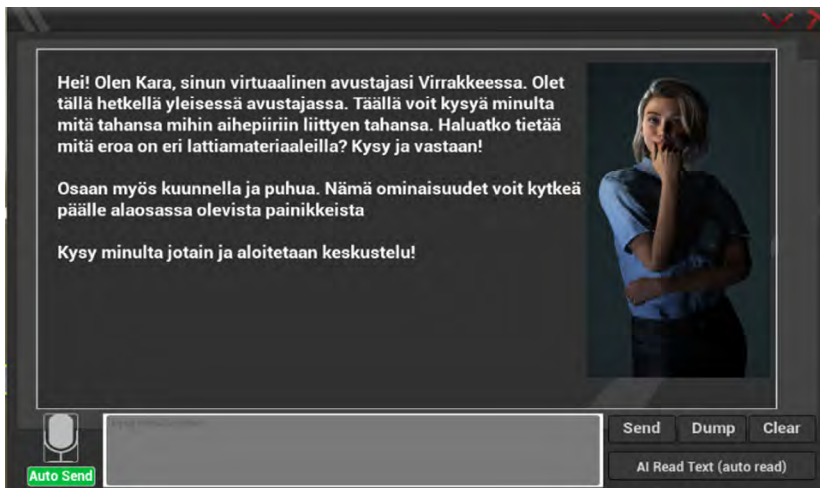
IoT ja Virrake

Virrake sisältää IoT-valmiuden (Internet of Things). Virrakkeella voidaan siis liittyä erilaisiin IoT-rajapintoihin. Virrakkeen avulla on siis mahdollista toteuttaa käyttöliittymiä erilaisiin IoT-järjestelmiin ja digitaalisiin kaksosiin. Hankkeiden yhteydessä olemme esimerkiksi toteuttaneet Virrakkeen avulla digitaalisen kaksosen, joka keskustelee vuorovaikutteisesti kehitetyn koneoppimisen mallin sekä yhteistyökumppanin valmistaman ilmalämpöpumpun kanssa. Käyttäjä voi esimerkiksi säätää Virrakkeen avulla olohuoneen lämpötilaksi 25°C, jolloin Virrake kysyy ensin ilmalämpöpumpulta vallitsevat sääolosuhteet. Tämän jälkeen koneoppimisen malli antaa Virrakkeelle olosuhdetietojen perusteella tarvittavat lämpöpumpun ohjaustiedot, kuten tarvittavan pattereiden menoveden lämpötilan, minkä jälkeen Virrake ohjaa lämpöpumppua saamiensa tietojen pohjalta.

Tekoäly ja Virrake

Tekoäly on noussut viimeisen kahden vuoden aikana suuren kansan tietoisuuteen ja tullut helposti kaikkien saataville. Kielimalleihin perustuvat chatbotit, kuten ChatGPT, ja kuvageneraattorit, kuten Midjourney, ovat alkaneet mullistaa ja pysyvästi muuttaa sitä, miten tietoa etsitään tai työtehtäviä suoritetaan. Kielimallit pystyvät vastaanottamaan ja tuottamaan luonnollista kieltä. Muun muassa yleisesti tunnettu ChatGPT perustuu OpenAI:n GPT-kielimalliin.

Virrakteeseen on toteutettu ominaisuus, jonka avulla voidaan kommunikoida OpenAI-rajapinnan kanssa. Virrakteeseen on esimerkiksi toteutettu GPT-kielimallia hyödyntävä opas nimeltä Kara, jolle on opetettu taustatietona, mikä on Virrake sekä tiedot mahdollisista opastettavista kohteista. Virrakkeen käyttäjät voivat kysyä kohteen tietoja tai muita kohteeseen liittyviä oleellisia asioita Karalta yksinkertaisesti puhumalla hänelle (Kuva 3).



Kuva 3. Keskustelua tekoälyn kanssa Virrake-sovelluksessa. (kuva: Juha Ojala)

Tietokoneessa olevan virtuaalimaailman lisäksi tekoälyassistentin palvelut soveltuvat AR-tekniikkaan. Kielimalli mahdollistaa esimerkiksi sen, että laitetta korjattaessa työntekijän ei tarvitse kahlata ohjekirjaa läpi, vaan hän voi esittää kysymyksen luonnollisella kielellä tekoälylle, joka vastaa ja neuvoa.

Lisätyn todellisuuden mobiilikokeilut rakennusalan prosesseissa

Lisätty todellisuus (Augmented Reality tai lyhyemmin AR) on noussut yhdeksi keskeiseksi digiteknologiaksi monilla eri aloilla ja tarjoaa uusia merkittäviä mahdollisuuksia rakentamisen alallakin. ProRak-hankkeessa tutkitaan yhtenä toimenpiteenä AR:n hyödyntämistä rakennusalaalla Unity-pelimootorilla kehitettyjen mobiilisovelluskokeilujen avulla.

Lisätyllä todellisuudella tarkoitetaan teknologioita ja sovelluksia, joissa virtuaalista sisältöä ja tietoa lisätään oikean maailman päälle. AR-sovelluksia käytetään yleensä mobiililaitteilla, kuten älypuhelimilla ja tableteilla, tai AR-laseilla. Sovellukset tarjoavat käyttäjälle laitteen kameran kautta reaaliaikaisen näkymän, johon virtuaaliset elementit lisätään päälle. Lisättyä todellisuutta käytetään sekä hyöty- että viihdetarkoituksissa. (Gillis 2022.)

Yksi tapa hyödyntää lisättyä todellisuutta rakennusalaalla on rakennuksen 3D-mallin näyttäminen oikeassa ympäristössä mobiililaitteen kameran läpi. Tutkimukset osoittavat, että AR-tekniikoiden vahvuutena on abst-

raktien konseptien havainnollistaminen ymmärrettävämmiksi (Garzón ym. 2019). AR:n avulla rakennuksen 3D-malli voidaan esimerkiksi näyttää pienoismallina rakennuksen pohjapiirustuksen päällä. Näin rakennussuunnitelmat pystytään havainnollistamaan ennen rakennustöiden aloittamista myös maallikolle, jolla ei ole taitoa lukea monimutkaisia piirustuksia, eli esimerkiksi asiakkaalle tai tulevalle käyttäjälle. (Kuva 4.)



Kuva 4. Rakennuksen digitaalinen kaksonen pienoismallina pohjapiirustuksesta. (kuva: Henri Riissanen)

Rakennuksen malli voidaan näyttää oikeassa ympäristössään tontilla. Mallia voidaan myös hyödyntää käyttöliittymänä rakennukseen liittyvän tiedon esittämiselle ja hallinnalle lisätyssä todellisuudessa (digitaalinen kaksonen). Rakennusalan toimijat voivat esimerkiksi tehokkaasti havainnollistaa rakenteiden ja suunnitelmien sulautuvuutta ympäristöön ja muihin rakenteisiin tai suunnitelmien eri elementtien suhdetta toisiinsa. (Kuva 5.)



Kuva 5. Rakennuksen digitaalinen kaksonen oikean kokoisena osana ympäristöä. (kuva: Henri Riissanen)

Lisätyn todellisuuden hyödyntämisellä koulutuskäytössä on tutkitusti positiivinen vaikutus opitun asian määrään ja opiskelumotivaatioon. AR:n käyttöä teollisuudessa on tutkittu tähän mennessä suhteellisen vähän. (Garzón ym. 2019.) Rakennusalalla työntekijät voisivat saada perehdytyksensä rakennettavaan kohteeseen tai työtehtäviinsä AR-sovelluksella, jossa esimerkiksi työvaiheita tai jonkin laitteiston käyttöä ohjeistetaan 3D-mallien ja animaatioiden avulla. Lisäksi AR-sovelluksella voidaan näyttää muutakin tietoa ympäristöstä, kuten turvalliset ja vaaralliset alueet tai laitteistoihin liittyvät reaaliaikaiset tiedot.

Tulosten pohdintaa ja johtopäätöksiä

Tehdyt tutkimukset ja pilotoinnit osoittavat selvästi, että on hyvin tärkeää kehittää sellaisia menetelmiä, joiden avulla rakennussuunnittelun ja rakennussuunnitelmien selkeyttä ja havainnollisuutta pystyttäisiin lisäämään. Tätä kautta saataisiin rakennusten ja muiden kohteiden tulevat käyttäjät nykyistä paremmin suunnitteluun mukaan jo heti alusta lähtien. Nyt tätä vaikeuttaa oleellisesti, että suunnitelmien kunnollinen ymmärtäminen edellyttää yleensä rakennusalan tuntemusta, jota ei maallikoilta välttämättä löydy. Tietomallinnus ja tietomallien pelillistäminen tuovat suunnitteluun tätä kovasti kaivattua havainnollisuutta lisää. Sama koskee tietysti kaikkien muidenkin alojen suunnittelua, kun on tarve havainnollistaa suunniteltavia asioita.

Esimerkiksi rakennusala on selkeässä murroksessa. Alan tulee ottaa oma digiloikkansa, jotta se pystyisi vastaamaan tulevaisuuden haastei-

siin. Kyse ei ole enää valinnasta, vaan kehitys on vääjäämätön. Kohteiden tietomallinnus on tullut jäädäkseen ja siihen liittyvät, pelillistämisen kaltaiset lisäarvoa tuovat elementit tulevat varmasti yleistymään. Myös suunnittelun joukkoistaminen ja ajatus kohteiden digitaalisista kaksosista ovat aivan varmasti rakennusalan tulevaisuutta.

Oikean ja virtuaalisen maailman yhdistävät AR-tekniikat tulevat myös varmuudella eri muodoissaan keskeiseksi osaksi tulevaisuuden suunnittelua. Esimerkiksi rakennussuunnittelussa saadaan paljon lisäarvoa, kun virtuaalisia suunnitelmia tai erilaisia ohjeistuksia voidaan tarkastella osana oikeaa todellisuutta näiden tekniikoiden avulla.

Erilaiset tekoälyyn pohjautuvat ratkaisut tulevat olemaan tulevaisuudessa keskeinen osa kaikkea toimintaa, myös rakennussuunnittelua. Tekoälyn avulla voidaan toteuttaa muun muassa erilaisia virtuaalisia avustajia opastamaan niin rakentamisessa kuin vaikkapa huollossa tai myynnissä ja markkinoinnissa. Tekoäly yhdessä pelillistämisen menetelmien ja tekniikoiden kanssa avaa paljon mielenkiintoisia mahdollisuuksia ja näkymiä toteuttaa tulevaisuuden suunnittelua.

Xamkin hankkeissa kehitetyt ideat ja menetelmät tuovat oman lisänsä tähän keskusteluun ja kehitykseen. Näitä ajatuksia tukevat vahvasti myös yhteistyökumppaneilta hankkeen aikana ja haastattelujen kautta saadut näkemykset ja mielipiteet.

LÄHTEET

Garzón J., Pavón J. & Baldiris S. 2019. Systematic review and meta-analysis of augmented reality in educational settings. Teoksessa Macredie, R. D. & Ballin, D. (toim.) *Virtual Reality*. PDF-dokumentti. Saatavissa: <https://doi.org/10.1007/s10055-019-00379-9> [viitattu 1.9.2023].

Gillis, A. 2022. Augmented Reality (AR). Techtarget. WWW-dokumentti. Päivitetty marraskuu 2022. Saatavissa: <https://www.techtarget.com/whatis/definition/augmented-reality-AR> [viitattu 25.8.2023].

Hilfert, T. & König, M. 2016. Low-cost virtual reality environment for engineering and construction. *Visualization in Engineering*, 4(2), 1-18.

Ojala, J., Selin, J., Partala, T. & Rossi, M. 2020. Virtual construction: interactive tools for collaboration in virtual reality. Teoksessa Arai, K., Kapoor, S. & Bhatia, R. (toim.) *Advances in Information and Communication, Proceedings of FICC 2020*. Cham: Springer, 341–351.

Seaborn K. & Felsh I. D. 2015. Gamification in theory and action: A survey. Teoksessa Brymby, D. P. (toim.) *International Journal of Human-Computer Studies* 74, 14-31. PDF-dokumentti. Saatavissa: <https://doi.org/10.1016/j.ijhcs.2014.09.006> [viitattu 1.9.2023].

Selin, J. 2021. Tietomallin pelillistäminen ja toiminnallisen suunnittelun menetelmä rakennusten suunnittelun apuna. Tampereen yliopisto. Informaatioteknologian ja viestinnän tiedekunta. Väitöskirja. PDF-dokumentti. Saatavissa: <https://urn.fi/URN:ISBN:978-952-03-1888-8> [viitattu 1.9.2023].