

3D-KAUPUNKIMALLIEN JA KAUPUNKIEN DIGIKAKSOSTEN KEHITTÄMISSUUNTIEN MÄÄRITTÄMINEN TULEVAISUUSTYÖSKENTELYN AVULLA

Juhani Talvela^{a,b}, Toni Rantanen^a, Matias Ingman^a, Hannu Hyyppä^{a,c}, Risto Linturi^d

^a Aalto-yliopisto, Rakennetun ympäristön laitos, Rakennetun ympäristön mittauksen ja mallinnuksen instituutti, MeMo

^b LUT-yliopisto, School of Engineering Science

^c Metropolia Ammattikorkeakoulu, Kiinteistö- ja rakennusala

^d Sovelto Oy

Tiivistelmä: 3D-kaupunkimallien ja kaupunkien digikaksosten tehokas hyödyntäminen edellyttää systeemisen ymmärryksen lisäämistä ja lisääntyvää vuorovaikutusta tekijöiden, datan omistajien ja käyttäjien välillä. KAOS-hankkeen toteuttama tulevaisuustyöskentely loi ensin järjestelyn tulevaisuuswebinaarin avulla systeemistä ylätason näkemystä digitaalisen kaupungin teemaan. Työskentelyä jatkettiin ja syvennettiin tulevaisuuspajan avulla, jossa 28 asiantuntijaa ja asiasta kiinnostunutta henkilöä tuotti ryhmätyöskentelyn avulla yhteensä 21 hanke-ehdotusta 3D-kaupunkimallien ja kaupunkien digikaksosten kehittämiseksi. Ehdotukset jakautuivat neljään teemaan: Liikenne ja liikkuminen; Kunnossapito ja rakentaminen; Elämykset, kulttuuri, turismi sekä Virtuaaliset paikkaan sidotut etäkohtaamiset. Saatujen hanke-ehdotusten jatkotyöstäminen on meneillään ja niiden odotetaan tuottavan uusia hankkeita, joilla digitaalisen kaupungin tarpeeseen perustuvaa hyötykäyttöä lisätään huomattavasti.

JULKAISTU

31.12.2021

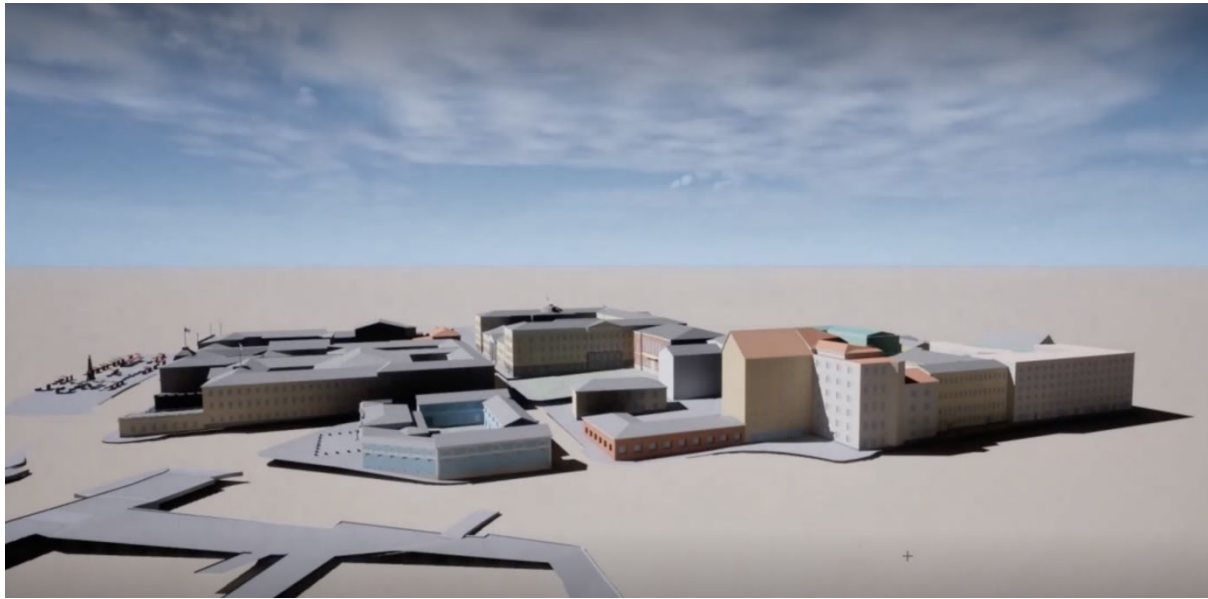
AVAINSANAT

3D, kaupunkimalli, digitaalinen kaksonen, tulevaisuudentutkimus, skenaariot

I. DIGITAALISTEN KAUPUNKIMALLIEN KEHITYS

6Aika on Suomen kuuden suurimman kaupungin; Helsingin, Espoon, Vantaan, Tampereen, Turun ja Oulun yhteinen kestävä kaupunkikehittämisen strategia. Sen avulla kaupungit pyrkivät mm. kehittämään kaupungeja entistä älykkäämmiksi ja vastaamaan palveluilla kaupunkilaisten aitoihin tarpeisiin. 3D-kaupunkimallit ovat tämän strategian ytimessä uusia palveluja mahdollistavina alustoina.

Kaupunkien 3D-mallintaminen käynnistyi laajakaistaisen internetin alkuaikoina erinäisten kokeilujen kautta. Helsingin kaupunki on ryhtynyt keräämään 3D-kaupunkidataa jo vuonna 1985. 1990-luvun puolivälissä Risto Linturin käynnistämässä Virtuaali-Helsinki hankkeessa (Helsinki Arena 2000) luotiin virtuaalinen Helsingin kaupunkimalli (Kuva 1.), joka kattoi 10 km² alueen ja jonka objektit olivat graafisesti todentuntuksia ja sisälsivät objektiin liitettyä semanttista tietoa. Tietotekniikka ei silloin vielä mahdollistanut reaaliaikaista, jokapäiväistä käyttöä palvelevan kaupungin digikaksosen toteuttamista, mutta kehitys on sen jälkeen kulkenut vahvasti tähän suuntaan.



Kuva 1. Osa vuonna 1996 esitellystä Virtuaali-Helsinki kaupunkimallista (Lähde: Risto Linturin esitys tulevaisuusseminaarissa 26.10.2021)

Laskentatehon kasvu ja uusien mallinnusmenetelmien kehittyminen ovat luoneet pohjan nykyaikaisten 3D-kaupunkimallien tuottamiselle. Nykyisin kaupunkien virtuaaliversiot ovat jo pitkälle kehittyneitä (Kuva 2.), ja monet reaali maailman ilmiöt voidaan tuoda virtuaaliseen malliin, jossa ne näkyvät reaaliaikaisesti. Näin mm. bussien ja raitiovaunujen paikkatieto hyödynnetään tuottamaan ao. liikennevälineen digitaalinen kuvaus virtuaalikaupunkiympäristöön. 3D-kaupunkimallien tarkka paikkatieto ja objektien semanttinen tieto tarjoavat pohjan vaikkapa erilaisten energiankulutusarvioiden tekemiseen tai valitun rakennuksen tai alueen ikkunapinta-alojen laskemiseen.

Tekniset mahdollisuudet ja valmiudet ovat riittävät monien uusien sovellusten tuottamiselle. Kaikki Suomen 6Aika-kaupungit on 3D-mallinnettu ja mallien hyödyntämiselle on suuri tarve. Konkreettiset sovellukset ovat kuitenkin vielä melko vähissä. Kaupunkien sisäinen käyttö tuottaa varhaisen vaiheen hyödyntämistä kaupunkisuunnittelussa ja rakentamisessa. Mutta kaupunkilaisten ja yritysten tarpeisiin mallit eivät vastaa vielä kovin hyvin.

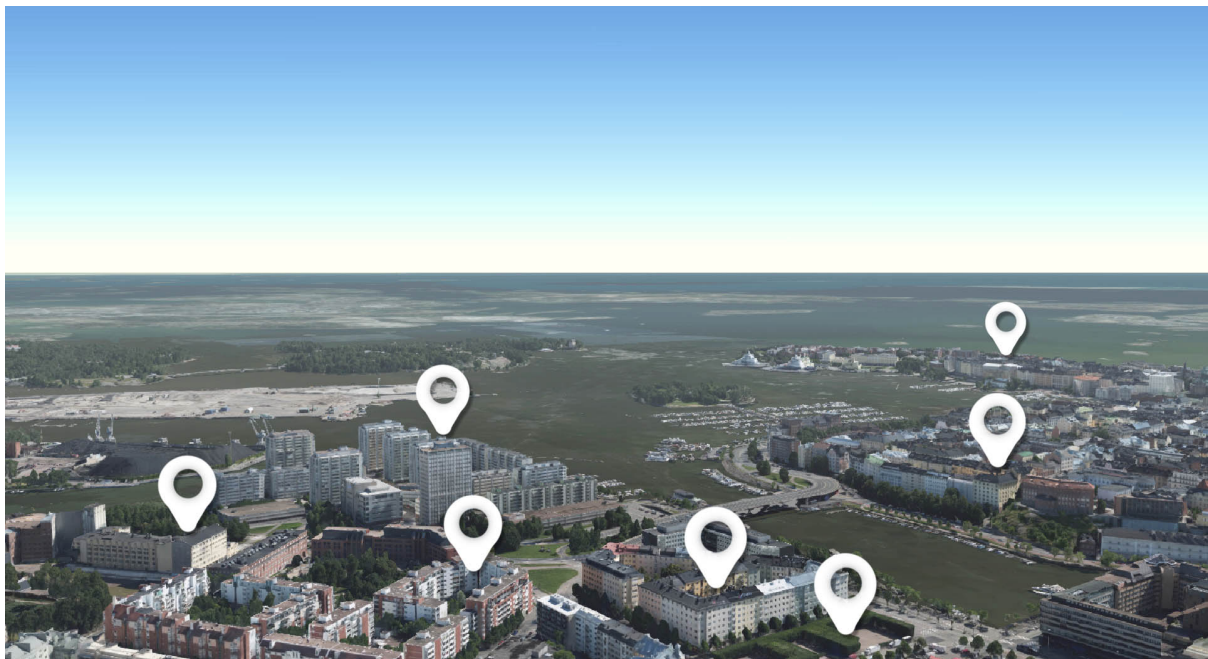
2. 3D-KAUPUNKIMALLEIHIN LIITTYVÄN OSAAMISPÄÄOMAN KEHITTÄMINEN KAOS-HANKKEESSA

Osaamisvaje on tunnistettu yhdeksi merkittävimmistä syistä 3D-kaupunkimallien hyödyntämisen vähyydessä. Alan koulutusta ei ole ja ymmärrys 3D-mallintamisesta, digitaalisista kaksoista ja kaupunkien digiversioiden hyödyntämisestä on sangen puutteellista. Osaajien ja tekijöiden puute näkyy sekä yritysten rajallisina palveluina että kaupunkien oman osaamispääoman täydentämisen vaikeutena.

Tähän tarpeeseen vastatakseen Aalto-yliopisto yhdessä Suomen Ympäristöopisto SYKLIn ja Maanmittauslaitoksen Paikkatietokeskuksen (FGI) kanssa käynnistivät keväällä 2020 ”3D-kaupunkimallien osaamispääoman kehittäminen” (KAOS)-hankkeen. Sen tavoitteena on kehittää 3D-kaupunkimallintamisen osaamista ja hyödyntämisvalmiuksia 3D-kaupunkimalleja hyödyntävissä yrityksissä sekä yhteiskehittämisen kautta Espoon ja Helsingin kaupungeissa. Kehittämistä tehdään kolmella alueella, jotka ovat:

- kaupunkimallintamisen tekniset lähtökohdat
- 3D-kaupunkimallin toiminta koko organisaation prosesseja tukevana kokonaisuutena
- 3D-kaupunkimallien hyödyntäminen jaettavana tietovarantona.

Hankkeen merkittävänä uutuusarvona on tarjota koulutusta 3D-paikkatiedon soveltamiseen liittyen. Kaupunkimallintamiseen liittyvän osaamispääoman tilannetta kartoitetaan, kyselyiden, haastatteluiden ja järjestettävien tilaisuuksien kautta. KAOS-hanke on osittain Euroopan Sosiaalirahaston (ESR) rahoittama ja sen toteuttamista tukee 6Aika-strategiatoimisto.



Kuva 2. Taustalla Helsingin kolmioverkkomalli (Lähde: Helsingin kaupungin kaupunginkanslia, tietotekniikka- ja viestintäosasto)

KAOS-hanke on toteuttanut vuosien 2020–2021 aikana useita koulutustilaisuuksia ja esittelytapahtumia, joissa 3D-kaupunkimalleja ja niiden tuottamiseen liittyviä teknologioita on esitelty hankkeen eri kohderyhmille. Kaupunkimalleihin ja kaupunkien digikaksosiin liittyvää teknologista ja sovellusosaamista on tuotettu yrityksille ja yritysten edustajille, tutkijoille ja opiskelijoille, kaupunkien, kuntayhtymien ja kaupunkien liikelaitosten edustajille, sekä kaupunkilaisille ja alan järjestöille.

3. TULEVAISUUSSEMINAARI JA -PAJA

Hankkeen työn aikana on käynyt selväksi, että käsitykset 3D-kaupunkimalleista eivät ole yhtenäiset tai selkeät. Asiaa voidaan tulkita tiukasti niin, että 3D-kaupunkimalleilla tarkoitetaan pelkästään kaupunkiympäristön paikkatarkkaa visuaalista mallintamista sekä malleihin yhdistettävää semanttista tietoa. Toisten mielestä 3D-kaupunkimalleista ei voi tai kannata puhua ilman, että käsittely laajennetaan koskemaan kaupungin digitaalista kaksosta, jonka reaali maailman tapahtumat heijastuvat (lähes) reaaliajassa digitaaliseen malliin ja päinvastoin. Entä miten laajasti digitaalisiin malleihin tulee kytkeytyä muita kuin kaupunkiorganisaation omia palveluita? Sellaisia, jotka ovat kuluttajien, yritysten ja organisaatioiden saavutettavissa ja käytössä, kuten vaikkapa Google Maps -tyyppiset kaupalliset palvelut.

Näiden perustavaa laatua olevien kysymysten avaamiseksi KAOS-hanke toteutti 26.10.2021 tulevaisuusseminaarin sekä sen pohjalta 29.11.2021 tulevaisuuspujan. Näiden tapahtumien tavoitteena oli lisätä osallistujien tietoisuutta ja ymmärrystä siitä, mitä kaikkea kaupunkimallit ovat ja voivat olla sekä miten niitä voidaan kehittää ja hyödyntää.

Tulevaisuustyön ja siihen liittyvän seminaarin ja tulevaisuuspujan kohderyhmät on esitetty taulukossa 1.

Taulukko 1. Tulevaisuustyön kohderyhmät

yritykset, jotka kehittävät uusia tuotteita ja palveluita 3D-kaupunkimallien ja/tai kaupunkien digikaksosten alueilla
yritykset, jotka hyödyntävät tai voisivat hyödyntää em. palveluita ja kaupunkien digitaalisia malleja oman toimintansa tehostamisessa ja kehittämisessä
kaupunkiorganisaatioiden 3D-kaupunkimallien "omistajat", joille on tärkeää ymmärtää, millaisia käyttötarpeita kaupunkimalleihin liittyy
kaupunkiorganisaatioiden sisäiset asiakkaat, joiden tulisi pystyä hyödyntämään kaupunkien digitaalisia malleja kaupungin omien toimintojen ja palveluiden tehostamisessa
alan opiskelijat ja tutkijat sekä aiheesta kiinnostuneet kaupunkilaiset, joilla on ideoita, ajatuksia tai vaan tarve ymmärtää paremmin digitaalisten kaupunkien tulevaisuutta
järjestöt ja NGO toimijat, joiden toimintaan digitaalisuus ja kaupunkimallit liittyvät

Tulevaisuusseminaarin esitelmöitsijöiksi valittiin alan huippuosaajia ja visionäärejä. Akateemisen tutkimusnäkökulmaa edustivat TU Delft yliopiston prof. Jantien Stoter ja Maanmittauslaitoksen paikkatietokeskuksen prof. Juha Hyyppä. Kaupunkiorganisaatioiden näkökulman esittelivät DI, arkkitehti Jarmo Suomisto sekä Forum Virium Helsingin Juho-Pekka Virtanen. Yritysnäkökulman 3D-

kaupunkimalleilla tehtävään bisnekseen toi Jarkko Sireeni XD Visuals Oy:sta. Seminaarin tulevaisuusorientoituneen vision tuotti DI, futuristi Risto Linturi.

KAOS-hankkeen tulevaisuusseminaarin materiaalit on lähetetty hankkeen rekisteröityneille osallistujille ja ne tulevat yleiseen jakoon vuoden 2022 aikana.

4. TULEVAISUUSPAJAN JÄRJESTELYT JA RYHMÄTYÖSKENTELY

Kehittämispajan valmistelutyön alkuvaiheessa oli tarkoitus toteuttaa tulevaisuusseminaari ja -paja samana päivänä, jolloin 2–3 tuntisen seminaarin jälkeen oltaisiin siirrytty ryhmätyömoodiin, ja tuotettu seminaarin annin pohjalta konkreettisia kehittämissuunnitelmia. Osallistujat olisivat siirtyneet seminaarin kuulijamoodista kehittämispajan kontribuuttoreiksi ja jatkaneet aiheen työstämistä pienemmissä ryhmissä. Käynnissä olevan pandemiatilanteen johdosta tilaisuudet päätettiin kuitenkin toteuttaa virtuaalisina etätapahtumina ja kahtena erillisenä tapahtumana. Tämä oli onnistunut ratkaisu, sillä yhdelle päivälle ei olisi virtuaalijärjestelyin saatu mahtumaan sekä seminaaria että tehokkaasti toimivaa pajatyöskentelyä.

Työpajan tavoitteeksi määritettiin kehittää hankeaihiota 3D-kaupunkimallien soveltamiseksi. Työskentelyn lähtökohdaksi annettiin yksinkertaistettu oletus, että kaupunkimalli on niin kutsuttu semanttinen malli, johon sekä visuaalisen malli että erilaiset staattiset ja dynaamiset paikkatiedot voidaan lisätä kerroksittain. Mallissa on siis tieto kunkin muodon merkityksestä, ulkonäöstä ja rakenteesta. Kiinteiden rakennuskantaan ja infrastruktuuriin kuuluvien rakenteiden sekä 4D-mallissa näihin liittyvä viranomaisluonteinen suunnittelutieto oletetaan tuotettavan kaupunkien toimesta yhteiseksi pehmeäksi infrastruktuuriksi.

Kehitettävien sovellusten tavoitteena on, että kullakin alueella olisi yhteinen ydinmalli, johon sovellusten vaatimia visuaalisia ja toiminnallisia laajennuksia voidaan lisätä kerroksittain. Sovelluskohtaisesti määräytyy, mitkä kerrokset käyttäjä saa nähtäväkseen. Tässä työpajassa osallistujat esittävät vaatimuksia siihen, mitä tietoa yhteisessä mallissa tulisi olla, miten sovelluskohtaisia objekteja liitetään yhteiseen malliin, miten sovellukset käyttävät yhteistä mallia ja, miten käyttäjät käyttävät sovelluksia.

Työpajan pohdinnoissa oletettiin, että kaupunkimallin yhteinen ydinmalli tuotetaan CityGML-muodossa, josta GIS-asiantuntijapiirin ulkopuolisia kansalaisten ja käyttäjäorganisaatioiden sovelluksia varten tuotetaan mallista ajantasainen versio Unreal Enginen ja Omniversen sovellusten käyttöön. Sekä Unreal Engine että Omniverse voidaan jakaa laajalle käyttäjäkunnalle hyvin edullisesti ja niihin on mahdollista lisätä toiminnallisuutta ja sovelluksia kerroksittain hyvin monipuolisesti. Kumpaankin järjestelmään saadaan yhteys lukuisista muista järjestelmistä myös reaaliaikaisesti. Mikäli käyttäjät haluavat katsoa mallin ja sovellusten tietoja kolmiulotteisina tietokoneella, älypuhelimella, VR-laseilla tai AR-laseilla, on se näissä ympäristöissä mahdollista maksuttomilla ohjelmistoilla. Ellei käyttäjän laite ole 3D-mallien selaamiseen riittävän tehokas, on selaaminen toteutettavissa pilvipalvelun avulla.

Laajakäyttöisissä sovelluksissa työpajan ideoinnissa oletettiin, että kussakin kaupungissa on konesali, joka suorittaa käyttäjien tarvitseman grafiikkaprosessoinnin eikä käyttäjien edellytetä hankkivan tehokkaita pelitietokoneita. Lähivuosina koneiden nopeutuminen luonnollisesti poistaa tämän ongelman. Puhuttaessa

digitaalisista kaksosista, mallin ja reaali maailman yhteys on otettava huomioon. Käyttöliittymänä saattaa toimia virtuaalimallin lisäksi myös fyysinen reaali maailma, johon voidaan asettaa aktivointitarroja tai muita merkkejä. Niiden ja älypuhelimien tai AR-lasien avulla voidaan käynnistää malliin liitettyjä toimintoja.

5. TYÖPAJAN ETENEMINEN

Tulevaisuuspaajaan ilmoittautui hieman yli 60 henkilöä, joista 28 saapui paikalle. Tulos on kuitenkin kohtuullinen huomioiden pajan kokopäiväisen työskentelyn ja yleisen väsymyksen etäyhteyksillä osallistumiseen. Työpajan vuorovaikutus toteutettiin Zoom-ympäristössä ja ideoiden keräämisen työskentelyalustana käytettiin Mural.co-ympäristöä.

Osallistujat jaettiin kuuteen ryhmään, jotka kukin käsittelivät päivän kuluessa neljää eri teemaa. Valittujen neljän teeman kannalta oli olennaista, että niihin tuotettavat ideat ovat sovellus- ja käyttäjälähtöisiä ja tähtäävät laajaan käyttäjäkuntaan. Teemat olivat:

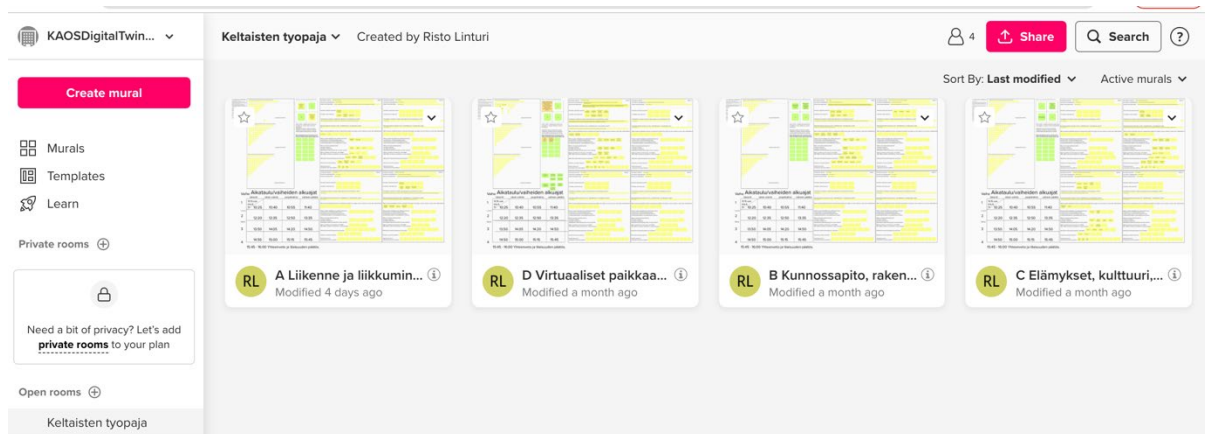
- A) Liikenne ja liikkuminen
- B) Kunnossapito ja rakentaminen
- C) Elämykset, kulttuuri, turismi
- D) Virtuaaliset paikkaan sidotut etäkohtaamiset

Työn edetessä ryhmien kokoonpano eli jonkin verran johtuen siitä, että joidenkin oli poistuttava osaksi aikaa kesken päivän tai aikaisemmin, ennen tilaisuuden päättämistä.

Ryhmiä ohjeistettiin työn alussa niin, että kukin ryhmä valitsee/nimeää puheenjohtajan, jonka tehtävänä oli pitää huoli teemakohtaisen työjärjestyksen noudattamisesta aikataulun mukaan. Jokaisen ryhmän tavoitteena oli saada jokaiseen teemaan kehittelemänsä hankeaihio kirjatuksi lomakkeelle – siis tavoitteena ryhmää kohden oli minimissään neljä hankeaihiota.

6. TULEVAISUUSPAJAN TULOKSET

Kaikki kuusi työryhmää teki ideoiden kehittämistä annettuihin teemoihin liittyen Mural.co-ympäristössä (Kuva 3). Käytössä oli kaksi erillistä Mural-työhuonetta, joiden neljään teemaan ryhmät rakensivat omat ehdotuksensa.



Kuva 3. Mural.co työskentely-ympäristö

Hankeideaansa ryhmien tuli kirjata laajasti seuraavia taulukossa 2 esitettäviä täydentäviä tietoja, joiden avulla ehdotuksen arviointi ja edistäminen on mahdollista.

Taulukko 2. Täydentävät tiedot hanke-ehdotuksiin

sovelluksen työnimi
sovelluksen karkea toimintaperiaate käyttäjälle, käyttäjäryhmä ja hyödyt käyttäjälle, kuvaus:
korvaako tai täydentääkö jotakin nykyistä prosessia ja/tai tuottaako uutta lisäarvoa?
tuotetaanko sovelluksen vaatima data hajautetusti (joukkoistetusti) vai keskitetysti?
automatisoidaanko tiedonkeruu IoT:n robottiliikenteen tai transaktioiden osaksi?
millä tavoin paikkatieto siirretään sovellukseen (sijainti-, tila- ja tyyppitieto, esimerkiksi valaisin, vai lisäksi myös yksilöllinen staattinen tai dynaaminen muoto tai ääni, esimerkiksi ihmisen digitaalinen kaksonen)
onko laajan käyttäjäkunnan näkökulmasta kyse: tiedonkeruu/ilmoitusten jättö -sovelluksesta tiedonselaus/visualisointi/navigointisovelluksesta toiminnallisesta vuorovaikutteisesta sovelluksesta?
mikä on kaavailtu käyttäjän käyttöympäristö: tietojen selaamisessa tietojen syötössä? onko toiminnallinen 3D-ympäristö, kuten UE4 tai Omniverse vai 3D-mallista tuotettu 2D-selaus
hankkeen arvioitu koko (satoja tuhansia, miljoonia, kymmeniä miljoonia) ja aikataulu (1-3v, 3-10v, 2030-luku)
mahdolliset yhteistyökumppanit ja vastuutaho
ehdotettu seuraava askel
ryhmän nimi

Työryhmien työskentely oli aktiivista ja ne tuottivat yhteensä 21 hanke-ehdotusta alla olevan taulukon 3 mukaisesti.

Taulukko 3. Tulevaisuuspajan tuottamat hanke-ehdotukset

Teema	Hankeaihoita
Liikenne ja liikkuminen	3 + 2 ehdotusta
Kunnossapito ja rakentaminen	3 + 3 ehdotusta
Elämykset, kulttuuri, turismi	3 + 2 ehdotusta
Virtuaaliset paikkaan sidotut etäkohtaamiset	3 + 2 ehdotusta

Ehdotusten lisäksi Mural.co-lomakkeille kirjattiin myös useita ei-niin-valmiita ideoita jatkokehittämiseksi. Kaikkien tuotettujen ehdotusten ja ideoiden työstäminen on käynnissä ja niiden tarkempi esittely on myöhemmässä vaiheessa.

7. JOHTOPÄÄTÖKSET

KAOS-hankkeen tulevaisuusseminaari ja tulevaisuuspaja toteuttivat ylätason käsitteistö ja systemisen ymmärryksen lisäämistä luotaamalla ensin seminaarissa huippuasiantuntijoiden näkemyksiä ja valveutuneen kuulijakunnan esittämiä hyviä kysymyksiä 3D-kaupunkimallien ja kaupunkien digikaksosten aihepiiristä. Seminaarin antina sen osanottajien ymmärrys ja tietämys mainituista teemoista parani ja valmius osallistua asiaa käsittelevään keskusteluun lisääntyi.

Tulevaisuuspajan toteutus etäyhteydellä oli vaativa toimenpide. Vaikka toteuttajilla oli ennestään vankka kokemus työpajatyöskentelyn ja tulevaisuudentutkimuksen metodien käytöstä, näin vaativaa virtuaalisesti pajatoteutusta ei ole aiemmin tehty. Riskeistä huolimatta pajan voidaan katsoa onnistuneen erittäin hyvin ja tuotetut tulokset (21 pitkälle työstettyä hanke-ehdotusta) kertovat osallistujien aktiivisesti tekemästä työstä.

Sekä seminaarin että pajatyöskentelyn osalta valmisteluaika osoittautui erittäin tavanomaiseen tapaan riittämättömäksi. Etenkin viestinnän ja markkinoinnin kannalta pitempi ilmoittautumisaika olisi epäilemättä kasvattanut osallistujajoukkoja ja esim. tulevaisuuspajan kannalta oli valitettavaa, että kaikkien 6Aika-kaupunkien edustajia ei saatu mukaan.

Ryhmätyöstä syntyneiden ehdotusten työstäminen on nyt edelleen käynnissä. Niiden pohjalta tullaan laatimaan tarkemmat kuvaukset, joiden avulla toteuttamiskelpoisuutta ja kiinnostavuutta voidaan arvioida laajemmalla intressipohjalla. Uskomme, että näiden ehdotusten pohjalta syntyy uusia hankkeita, jotka johtavat 3D-kaupunkimallien ja kaupunkien digikaksosten vahvaan kehittymiseen, uusien yritysten

syntymiseen ja yritysten uuden toiminnan muodostumiseen sekä jännittävien ja hyödyllisten tulevaisuussovellusten syntymiseen kaupunkilaisten ja kuluttajien käyttöön.

8. KIITÄMME

”Kaupunkimallien osaamispääoman kehittäminen 6Aika-kaupungeissa – KAOS” -hanke (hakemusnumero 105621). Hankkeessa mukana: Aalto-yliopisto, Maanmittauslaitos/Paikkatietokeskus FGI ja Suomen ympäristöopisto SYKLI.



9. KIRJALLISUUTTA

Julin, A., Jaalama, K., Virtanen, J-P., Pouke, M., Ylipulli, J., Vaaja, M.T. Hyyppä J., & Hyyppä, H. (2018). “Characterizing 3D City Modeling Projects: Towards a Harmonized Interoperable System”, ISPRS International Journal of Geo-Information 7(2). <https://doi.org/10.3390/ijgi7020055>

Linturi, R. & Kuittinen, O. 2014. ”Liikennetiedon visiot”. Liikenneviraston tutkimuksia ja selvityksiä 42/2014. ISSN 1798-6664. Saatavilla: https://www.doria.fi/bitstream/handle/10024/121176/lts_2014-42_978-952-317-004-9.pdf?sequence=1&isAllowed=y

Linturi, R. & Simula, T. 2003. “Virtual Helsinki: Enabling the Citizen, Linking the Physical and Virtual”. Proceedings of Conference “Digital Cities III, Information Technologies for Social Capital: Cross-cultural Perspectives, Third International Digital Cities Workshop”, Amsterdam, The Netherlands, September 18-19, 2003, Part of the Lecture Notes in Computer Science book series (LNCS, volume 3081). DOI:10.1007/11407546_6

Virtanen, J-P., Jaalama, K., Julin, A., Kurkela, M., Maksimainen, M., Vaaja, M.T. & Hyyppä, H. (2018a). “3D-kaupunkimallit ja virtuaalisuus aluekehityksen työkaluiksi”, UAS Journal 4/2018. <https://uasjournal.fi/4-2018/3d-kaupunkimallit-ja-virtuaalisuus/>

Virtanen, J-P., Jaalama, K., Julin, A., Hahkala, H., Vaaja, M.T. & Hyyppä, H. (2018b). “Pelillistäminen, paikkatieto ja uusiutuva energia – energiankäytön seurannan ja visualisoinnin mahdollisuuksista”, UAS Journal 1/2018. <https://uasjournal.fi/12018/pelillistaminen-paikkatieto/>

Virtanen, J-P., Julin, A., Hyyppä, H., Ahlavo, M. & Hyyppä, J. (2017). “Tulevaisuuden avoimet kaupunkimallit”, Maankäyttö 4/2017. http://www.maankaytto.fi/arkisto/mk417/mk417_2015_virtanen_julin_et_al.pdf