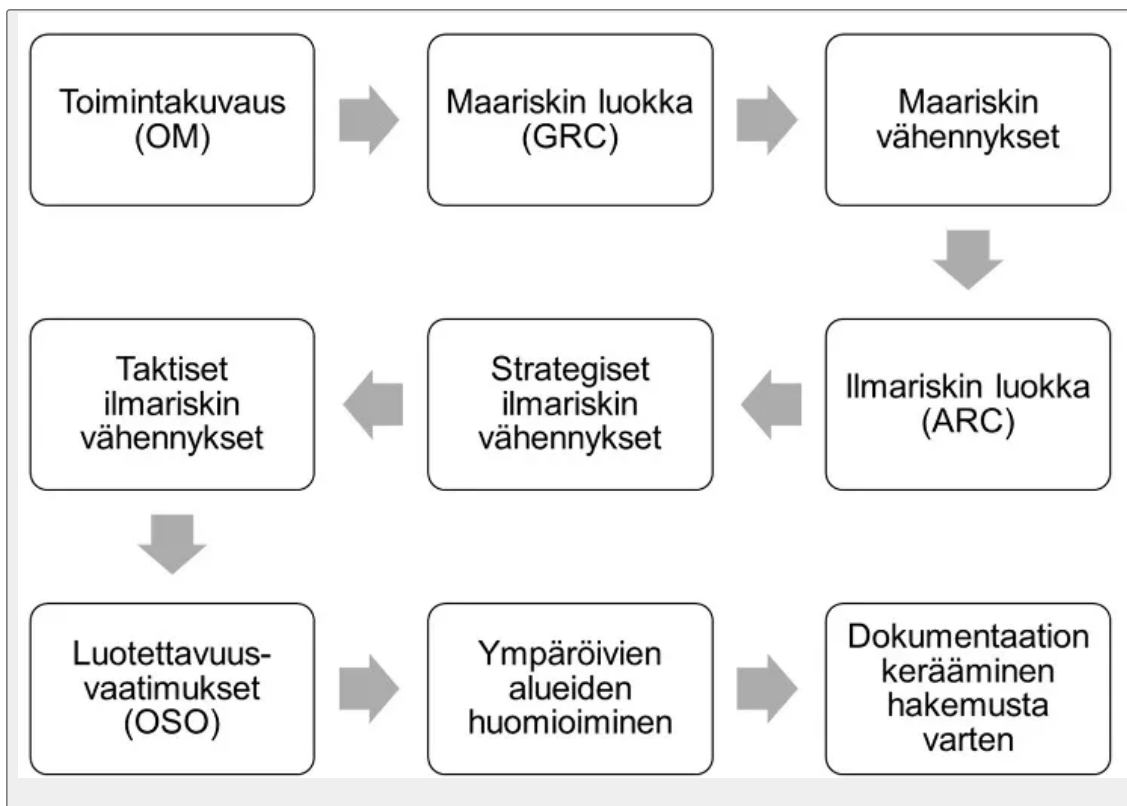




KUVA 1: SORA-riskinarvioinnin vaiheet .

Kuva: Vesa Vuorinen/HAMK.

Laserkeilausaineisto suunnittelun tukena

teksti: KATJA VIRTANEN ja VESA VUORINEN

Kanta-Hämeen rakennetun ympäristön sopeutuminen ilmastonmuutokseen (ILMARA) -hankkeessa etsitään kantahämäläisen rakennetun ympäristön ilmastoressilienssiä vahvistavia ratkaisuja. ILMARA-hankkeessa HAMK Oy hankki käyttöönsä DJI Matrice 350 RTK -dronin sekä DJI L2-laserkeilaimen, jonka tuottamasta pistepilvestä saadaan arvokasta tietoa alueen pinnanmuodoista ja kasvillisuusalueista. Keilausdatan avulla voidaan etsiä ratkaisuja esimerkiksi hulevesien ohjaukseen ja hallintamenetelmiin.

Laserkeilaus on mittaustekniikka, jossa lähetetään lasersäde mitattavaan kohteeseen ja takaisin heijastuneista vastaanotetuista säteistä muodostetaan kolmiulotteinen pistepilvi. Puhutaan aktiivisesta kaukokartoituksesta, jossa mittaus tapahtuu laitteen lähettämän lasersäteen avulla. Passiivisesta kaukokartoituksesta puhutaan, kun havainnoidaan kohteen lähettämää tai heijastamaa säteilyä esimerkiksi kameralla tai spektrometrillä. Kaukokartoitustuotteita ovat satelliittikuvat, ilmakuvat, pistepilvet ja erilaiset pintamallit.

Kaukokartoitus muodostuu kolmesta vaiheesta: datan keruu, tiedon prosessointi ja analysointi. Neljänneksi vaiheeksi voidaan mieltää datan jatkokäyttö.

Laserkeilaimella tuotetussa pistepilvessä jokaisella pisteellä on XYZ-koordinaatit. Lisäksi piste voi sisältää tietoa esimerkiksi väristä tai sillä voi olla luokitustieto, onko kyseessä maanpinta, kasvillisuus vai rakennus. Väri pisteelle saadaan samaan aikaan keilausdataa otetuista valokuvista. Toiminta droneihin kiinnitetyillä laserkeilaimilla on pitkälle automatisoitua algoritmien työtä, jota hallitaan laitteistoa ohjaavilla sovelluksilla ja tietokoneohjelmilla.



KUVA 2: DJI:n laserkeilain L2 on kiinnitetty droonin alapuolelle.

Kuva: Esa Lientola / HAMK

TOIMINTALUVAN HAKEMINEN

Droonit eli miehittämättömät ilma-alukset ovat jo jokaisen saatavilla. Pieni marketista ostettu drooni riittää jo hyvän ilmakuvan ottamiseen, mutta laserkeilaimen saaminen taivaalle on monimutkaisempaa. Alaa on säädelty EU-tasolla ja Suomessa noudatetaan EASA:n (European Union Aviation Safety Agency) laatimia sääntöjä. EASA:n sääntelyn keskeiset kohdat ovat riskiperustainen lähestymistapa, lentoja toteuttavan organisaation rekisteröinti sekä toiminta ja lennättäjän pätevyys.

Riskiperusteinen lähestymistapa tarkoittaa usean eri tekijän arvioimista ennen kuin toiminta voidaan aloittaa. Muun muassa lennokin paino, maan pinnalla oleva toimintaympäristö ja lentoympäristön riskit tulee huomioida. Drone-toiminta jaetaan kolmeen pääkategoriaan riskitason mukaan:

- Avoin (Open): Matala riski, ei vaadi erillistä lupaa.
- Erityinen (Specific): Keskimääräinen riski, vaatii riskinarvioinnin ja viranomaisen luvan.
- Sertifioitu (Certified): Korkea riski, vaatii ilma-aluksen ja operaattorin sertifiointin. Avoimessa kategoriassa on useita alaluokkia, jotka määräytyvät droonin painon ja käyttöympäristön mukaan. Mitä kevyempi laite, niin sitä lähempänä asutusta ja ihmisiä voidaan operoida. Sertifioitu kategoria koskee lähinnä tavaroiden ja ihmisten kuljettamista.

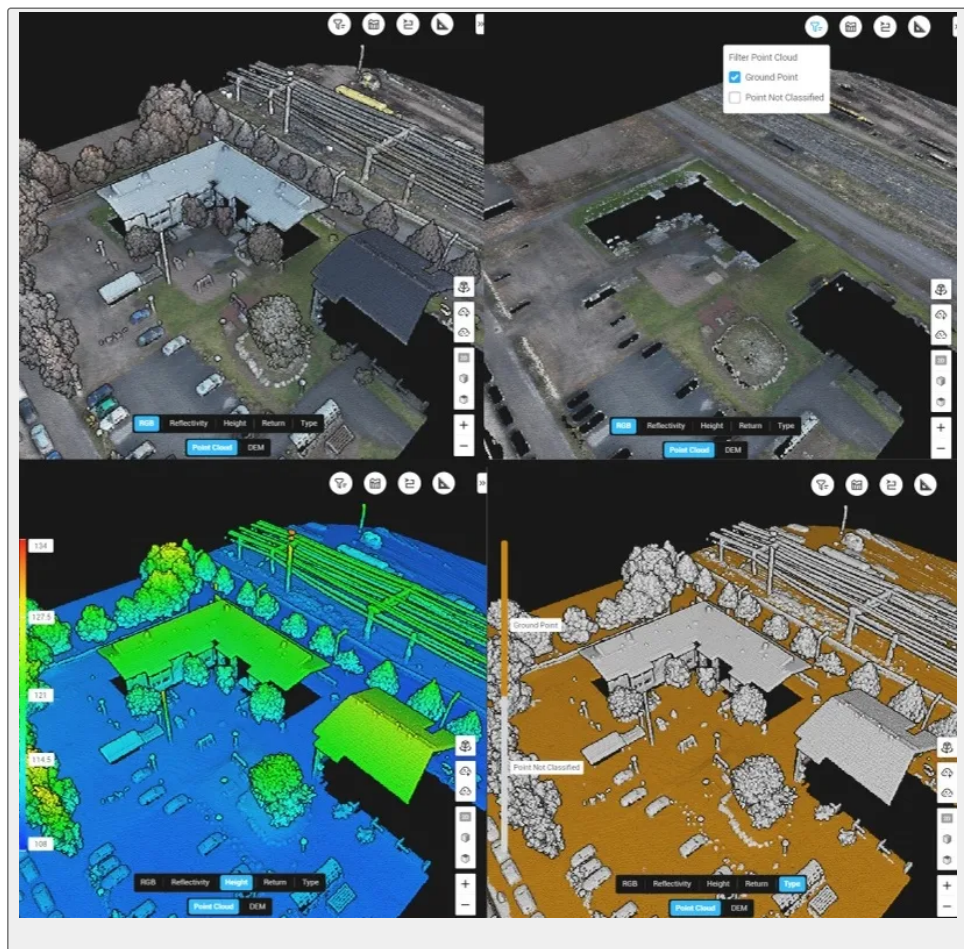
ILMARA-hankkeessa toimintaympäristö taajamassa asutun alueen yläpuolella sekä laitteiston paino määrittivät jo toiminnan sijoittuvan erityinen-kategoriaan. Suomessa ilmailun turvallisuudesta vastaava ja turvallisuutta valvova viranomainen on Traficom, jolta toimintalupaa haetaan.

Erityinen-kategorian toimintalupa miehittämättömään ilmailuun edellyttää operaattorilta toimintatavan luomista, joka sisältää esimerkiksi yksityiskohtaiset kuvaukset SORA-riskinarvioinnista, organisaation toimintakulttuurin, lennonhallintamenetelmät, hätätilannesuunnitelman ja koulutusohjelman lennättäjille ja muille toimintaan osallistuville. Kansainvälinen ilmailukieli on englanti, jolloin myös miehittämätön ilmailu vilisee englanninkielisiä termejä. Keskeisiä asiakirjoja toimintalupahakemuksessa ovat

- Operations Manual – OM
- Specific Operations Risk Assessment – SORA
- Emergency Response Plan – ERP
- Operative Safety Objectives – OSO
- Koulutusohjelma (teoreettinen ja käytännön koulutus) SORA-riskinarvioinnissa (kuva 1.) käydään läpi aiottuun toimintaan liittyviä riskejä miehittämättömän ilmailun erityinen kategoriassa. Arviointi etenee vaiheittain: ensin määritellään operatiivinen skenaario, sitten arvioidaan maassa tapahtuvan riskin (Ground Risk Class, GRC) taso ja sen jälkeen ilmassa tapahtuvan riskin (Air Risk Class, ARC) taso. Näitä riskejä lievennetään operatiivisilla ja teknisillä toimenpiteillä, minkä jälkeen lasketaan lopullinen SORA-tulos. Lopuksi tarkistetaan vaatimustenmukaisuus ja suositellaan hyväksyttävää turvallisuustasoa (SAIL), joka ohjaa tarvittavia keinoja turvallisen toiminnan varmistamiseksi.

Lisäksi tarvitaan todistukset laitteiston soveltumisesta aiottuun toimintakategoriaan. EASA on määritellyt drooneille C-luokat, jotka määräytyvät pääasiassa painon mukaan. ILMARA-hankkeessa toimintaan vaadittu laitteisto sijoittui painonsa puolesta C3-luokkaan, mutta toiminta asutun alueen yläpuolella erityinen-kategoriassa edellytti C5-luokkaa, jossa on huomioitu alla oleville ihmisille aiheutuva vaara mahdollisessa hätätilanteessa. Tätä varten laitteisto on varustettu itsenäisellä lennonkeskeytysjärjestelmällä ja laskuvarjolla. Riskit ja niihin varautuminen määritetään SAIL-tasoilla (Specific Assurance and

Integrity Levels), joissa määritetään operaatioiden turvallisuustaso mahdollisten vahinkojen perusteella sekä toimintavarmuus teknisten järjestelmien sekä toimintatavan avulla.

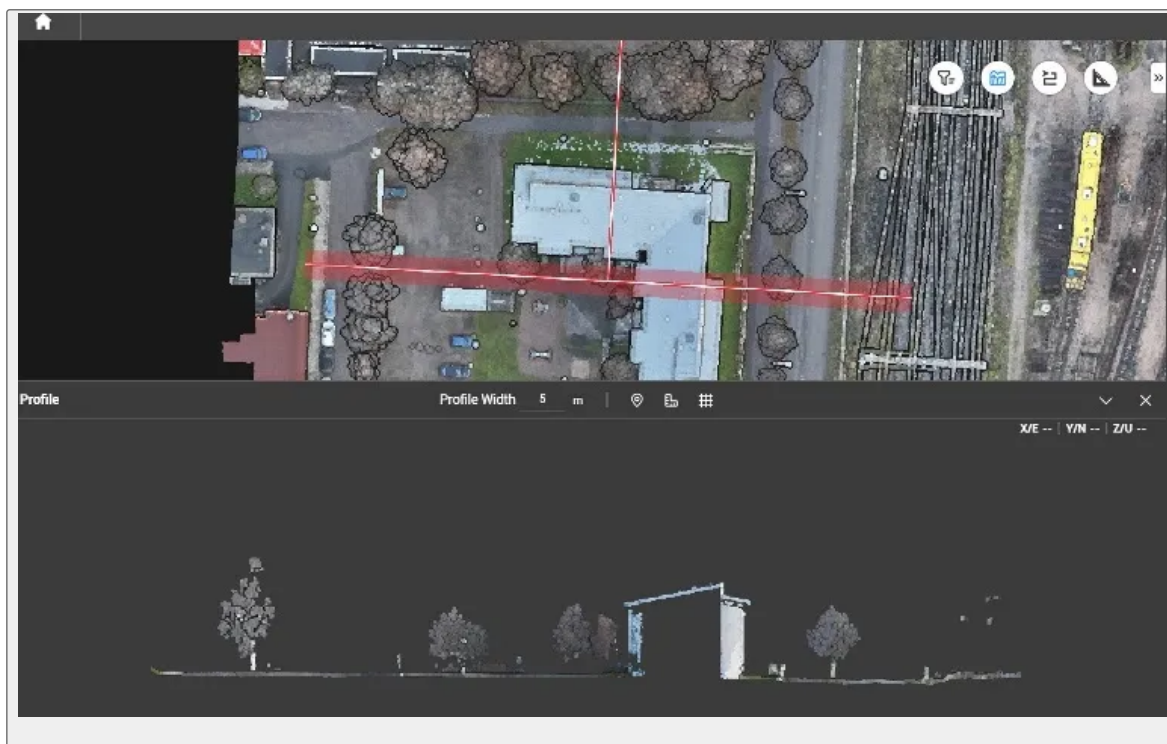


KUVA 3: DJI Terrassa pistepilviaineistoa voi tarkastella tarpeen mukaan erilaisilla asetuksilla. Ylärivissä normaali RGB-väritila, alarivissä esimerkiksi korkeuksiin ja maan pintamalliin perustuvaa kuvantamista. Halutessaan mallista saa näkyviin pelkät maanpinnan pisteet (ylärivin oikeanpuoleinen kuva).

Kuvakaappaus: Katja Virtanen / HAMK

Toiminta erityinen-kategoriassa edellyttää ilma-aluksen pilotilta koulutusta sekä perehtyneisyyttä aiheeseen. Traficomin avoimen kategorian A1/A3-verkkokoulutukset ja verkkoteoriakoe ovat hyvä lähtökohta miehittämättömään ilmailuun. Edellisten lisäksi A2-lisäteoriakoe sekä omatoiminen opiskelu ja harjoittelu operaattorin oman koulutusohjelman mukaan ovat pakollisia erityinen-kategoriaan. Pilotin pitää hallita myös hätäensiapu ja alkusammutus. Lisäksi operaattorilta vaaditaan toiminnan vastuuvakuutus.

ILMARA-hankkeessa HAMK haki Traficomilta toimintalupaa erityinen-kategoriaan. Toimintatavan luomiseen ja asiakirjojen valmisteluun hakemuksineen kului aikaa yli kaksi sataa tuntia, joka jakautui usealle kuukaudelle. Käsittelyaika Traficomissa oli viisi kuukautta. Toimintalupa saatiin 28.10.2024 määräajaksi, joka päättyy 2027. EASA on päivittämässä riskinarvioinnin tapaa SORA 2:sta SORA 2.5:een, jolloin toimintalupaa uudistettaessa riskinarviointi tulee olemaan vielä yksityiskohtaisempaa.



KUVA 4: Leikkauskuvat antavat hyvän lähtökohdan tontin pinnanmuotojen ja tilarajausten tarkasteluun. Kuvakaappaus: Katja Virtanen / HAMK

LAITTEISTON ESITTELY

ILMARA-hankkeessa HAMK Oy hankki DJI:n valmistaman Matrice 350 RTK-droonin sekä DJI:n L2-laserkeilaimen (Kuva 2.) Yhdistelmän suurin sallittu lentoonlähöpaino on 9,2 kg, mitat 81x67x47 cm, lentoaika 55 minuuttia ja suurin nopeus 82 km/h. Toimintaluvassa riskinarvioinnin perusteella edellytetty lennonkeskeytys ja laskuvarjo toteutettiin ranskalaisen Dronavian valmistamilla Kronos M350-järjestelmällä. Dronavia on hakenut järjestelmälleen EASA:n Means of Compliance todistuksen (MoC) C5-luokkaan, jolloin toiminta erityinen-kategoriarissa SAIL II-tasolla oli mahdollista.

Laitteistossa käytetyn paikannuksen tarkkuutta parantaa RTK-palvelu (Real Time Kinematic), jota käytetään GNSS-signaalin lisäksi. Hankkeessa oli käytössä Maanmittauslaitoksen FINPOS RTK-palvelu. L2-laserkeilaimen tarkkuus on valmistajan mukaan 150 metrin korkeudesta 5 cm horisontaalisesti ja 4 cm vertikaalisesti. Pisteitä voidaan tuottaa 1,2 miljoona sekunnissa. Keilain on varustettu 20 megapikselin kameralla, jonka ottamia valokuvia käytetään pistepilven värien määrittämiseen.



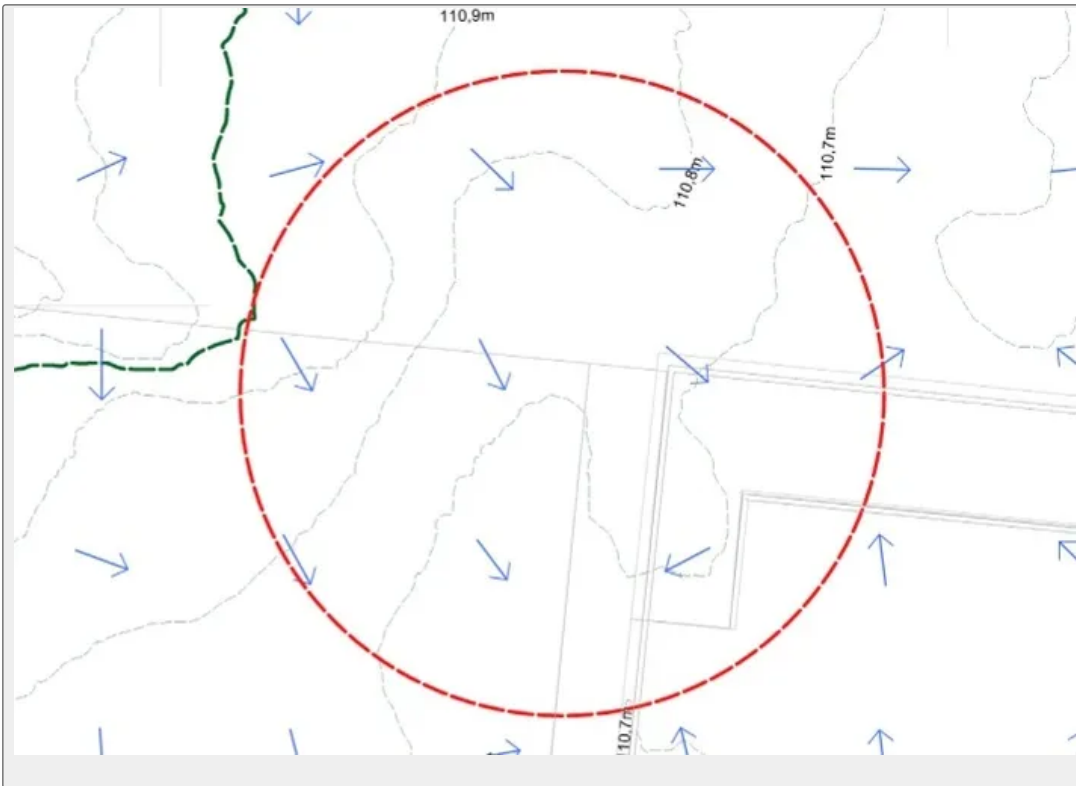
KUVA 5: Pistepilviaineisto Vectorworks Landmarkiin tuotuna. Pistepilven avulla pystyy esimerkiksi mallintamaan rakennukset paikoilleen. Myös pistepilvipuiden tilalle voi laittaa ohjelman omia 3d-puita, mikäli myöhemmässä vaiheessa haluaa sammuuttaa pistepilvitason. Tässä pistepilven läpi näkyy myös Vectorworksissä luotu maastomalli korkeuskäyrineen ja mallinnetut rakennukset. Kuvakaappaus: Katja Virtanen / HAMK

PISTEPILVIMALLIN TARKASTELU

Pistepilviaineisto muodostuu joukosta koordinaattipisteitä, jotka edustavat mitattavan alueen pinnanmuotoja ja rakenteita. Kun pistepilviaineisto muunnetaan digitaaliseksi korkeusmalliksi (DEM) se voi tarjota arvokasta tietoa maaston kaltevuudesta, veden luonnollisista kulkureiteistä ja mahdollisista tulvavaara-

alueista. ILMARA-hankkeen yhteydessä pistepilviaineistoa käytettiin taloyhtiön piha-alueen hulevesien liikkeen tarkasteluun, mutta pistepilviaineistoa voidaan hyödyntää monipuolisesti myös minkä tahansa suunnittelukohteen lähtötietojen kartoituksessa ja analysoinnissa.

DJI Terra -ohjelmisto on pistepilviaineiston tarkasteluun ja aineiston tiedostomuutoksiin kehitetty ohjelmisto. Ohjelmassa voidaan tarkastella pistepilviaineistoa 3d-mallina erilaisilla asetuksilla (kuva 3.) Ohjelma mahdollistaa myös leikkauskuvat halutuista kohdista (kuva 4.) Ohjelma tekee karkean korkeusmallin, mutta mikäli aineistosta haluaa tehdä tarkempaa analyysiä, kannattaa se muuntaa cad-ohjelmia tukeviin tiedostomuotoihin.

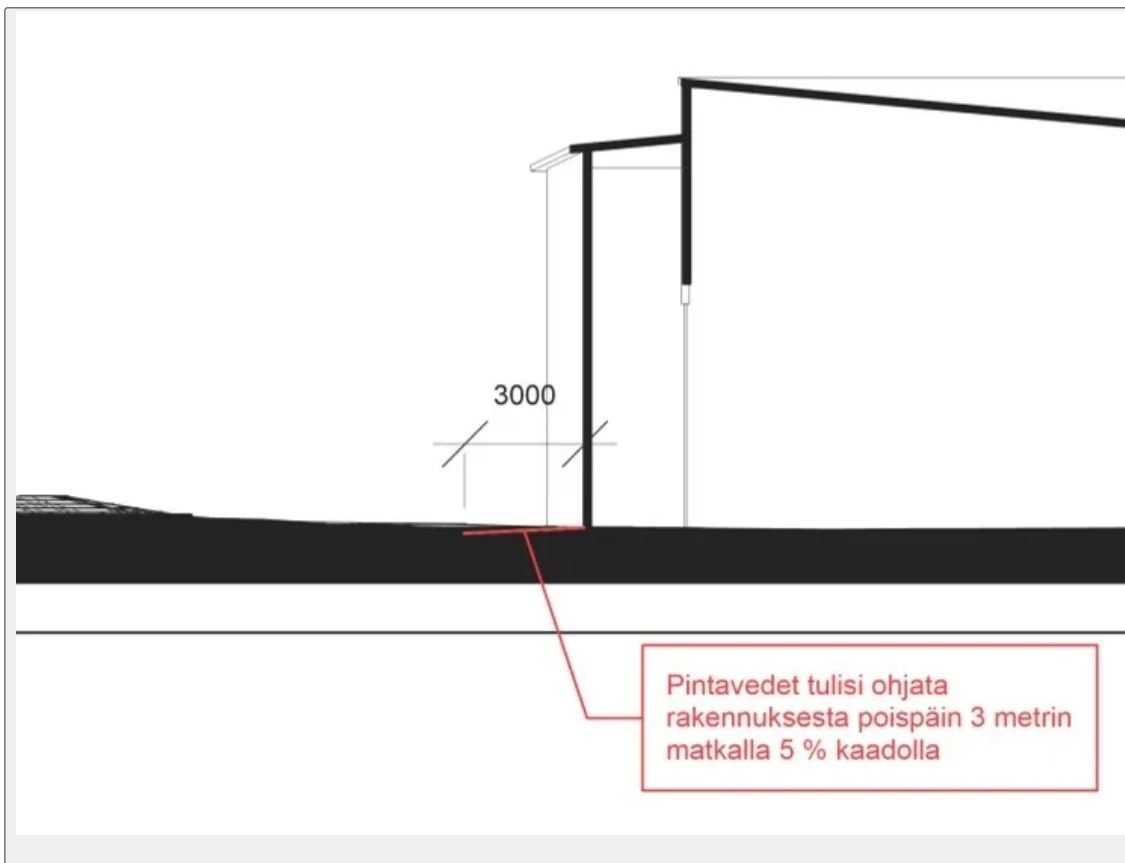


KUVA 6: Maastomallissa on mahdollista havainnollistaa pintavesien valumissuuntia. Esimerkiksi tässä tapauksessa rakennuksen länsipäädyssä nuolet osoittavat rakennuksen suuntaan. Nuolien etäisyys on asetettu 5 m ruutuihin, joka antaa tässä mittakaavassa hyvän yleiskuvan tilanteesta. Tiheämmällä nuolien sijoittelulla päästään yksityiskohtaisempaan tarkasteluun. Kuvakaappaus: Katja Virtanen / HAMK

AINEISTON JATKOKÄSITTELY

Vectorworks Landmark on maisemasuunnittelun CAD-ohjelmisto, jossa on monipuoliset 3d-ominaisuudet. Vectorworks tukee yleisiä pistepilvitiedostomuotoja ja pistepilven muodostamaa 3d-mallia voidaankin tarkastella sellaisenaan ohjelmassa tai sitä voidaan hyödyntää esimerkiksi olemassa olevien rakennusten ja rakenteiden mallintamisessa (kuva 5.) DJI Terran luomia korkeuskäyriä voidaan myös tuoda Vectorworksiin SHP- tai DXF tiedostomuodossa, jolloin niistä voidaan tehdä helposti maastomalli. Maastomallissa on mahdollista havainnollistaa pintavesien valumissuuntia, jolloin voidaan tehdä nopeasti havaintoja tontin ongelmakohdista (kuva 6.) tai potentiaalisista hulevesien viivytys/imeytyspaikoista sekä tulvareiteistä. 3d-mallista saadaan myös leikkauskuvia ja CAD-ohjelmassa mittoja ja kaltevuuksia on helpompi määrittää ja tarkastella. (Kuva 7.)

Visuaalista tulvatarkastelua voidaan tehdä myös muilla ohjelmilla. Esimerkiksi Twinmotion-ohjelmaan voi tuoda pistepilvimallin joko suoraan tai cad-ohjelman kautta ja ohjelmassa on mahdollista muuttaa vedenpinnan korkeutta. Renderointi on reaaliaikaista. (Kuva 8.)



KUVA 7: CAD-ohjelmassa voidaan ottaa 3d-mallista leikkauskuvia. Mittoja saadaan määritettyä CAD-ohjelmassa helpommin ja tarkemmin kuin DJI Terrassa.

Kuvakaappaus: Katja Virtanen / HAMK

LASERKEILAUKSEN HYÖTYJÄ JA HAASTEITA

Laserkeilaus on tehokas tapa kerätä ja analysoida tarkkaa ja luotettavaa tietoa alueen korkeuseroista, maastonmuodoista, kasvillisuudesta ja rakenteista. Vaikka laserkeilaimen ja droonin yhteishankinta on suuri alkuinvestointi ja lennättäminen vaatii erityistaitoja ja -lupia, menetelmä parantaa kustannustehokkuutta pitkällä aikavälillä nopeamman aineistonkeruun ansiosta. Laserkeilaus vähentää maastokäyntien tarvetta ja säästää myös näin resursseja.

Laserkeilauksen perusteella luodut digitaaliset maastomallit auttavat ymmärtämään alueen korkeuseroja ja maastonmuotoja ja helpottaa miettimään suunnitteluratkaisuja esimerkiksi esteettömien reittien suunnitteluun sekä hulevesien ohjaukseen ja hallintamenetelmiin.



KUVA 8: Twinmotion on renderöinti- ja visualisointiohjelma. Ohjelmassa voi esimerkiksi lisätä kasvillisuutta tai tarkastella veden pinnan korkeutta. Tässä kuvassa pohjalla on pistepilvi ja välikaistalle on lisätty niittykasvillisuutta ja puu suoraan pistepilven päälle. Vedenpintaa on myös nostettu. Kuvakaappaus: Katja Virtanen / HAMK

Ongelmakohdat pystytään havainnoimaan nopeasti, koska maastomallista nähdään veden liikkeet tontilla. Keilausdataa voidaan myös käyttää arvioimaan alueen kasvillisuuden vaikutusta mikroilmastoon ja varjostukseen. Pistepilvimallin perusteella voidaan tarkistaa rakennusten kattokulmia ja korkean kasvillisuuden sijoittumista tontilla, kun esimerkiksi mietitään aurinkopaneelien asennusta. Lisäksi pistepilvimallia voidaan käyttää kasvillisuuden ja maiseman kehittymisen seurantaan tietyllä aikavälillä.

Tekniikan kehittyessä laserkeilaimet tulevat kevenemään.

Tämä voi mahdollistaa droonilla operoimisen asutun alueen yläpuolella pienemmillä laitteilla, joita voi olla mahdollista käyttää ilman monimutkaisia lupahakemuksia. Tällä hetkellä tekniikan käyttö rajautunee kaupunkien mittausyksiköiden ja muitakin mittauspalveluja tuottavien yritysten käyttöön.

Kirjoittajat ovat Rakennetun ympäristön lehtoreita HAMKissa.

Artikkeli on kirjoitettu osana ILMARA Kanta-Hämeen rakennetun ympäristön sopeutuminen ilmastonmuutokseen -hanketta. ILMARA-hanke saa rahoitusta Euroopan Unionilta ja Hämeen liitolta.