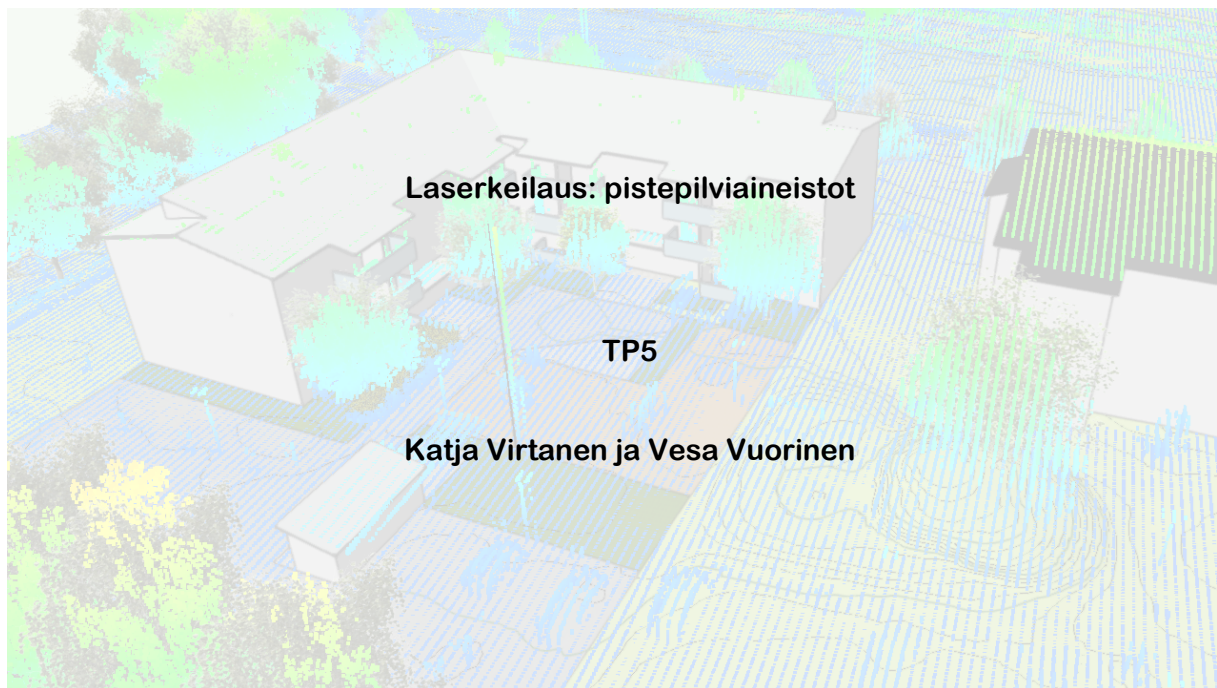




Sisältö

1	Johdanto	1
2	Laserkeilaus.....	2
2.1	Laitteisto	2
2.2	Toimintalupa	3
3	Pistepilviaineiston tarkastelu	5
3.1	DJI Terra -ohjelmisto.....	6
3.1.1	Materiaalin käsittely DJI Terrassa.....	6
3.1.2	Tiedostojen exportointi.....	10
3.2	Vectorworks Landmark -ohjelmisto	12
3.2.1	Aineiston importointi	12
3.2.2	Rakennusten mallinnus pistepilven avulla.....	13
3.2.3	Maastomalli ja leikkauskuvat	15
3.3	Twinmotion -ohjelmisto	19
3.3.1	Aineiston importointi	19
3.3.2	Aineiston käsittely.....	20
4	Tulokset	23
4.1	Oikokatu	23
4.2	Palomiehenpuisto	26
4.3	Vertailu Tulvakeskuksen yleiseen hulevesitulvakarttaan	28
5	Johtopäätökset.....	30
	Lähteet	34

1 Johdanto

ILMARA-hankkeessa HAMK Oy hankki käyttöönsä DJI Matrice 350 RTK -droonin sekä DJI L2-laserkeilaimen. Näiden avulla voidaan toteuttaa tarkkaa ja tehokasta kaukokartoitusta. Laserkeilaimen tuottamat pistepilvet sisältävät kolmiulotteisten XYZ-koordinaattien lisäksi tietoa esimerkiksi väristä ja luokittelusta, kuten maanpinnan, kasvillisuuden tai rakennusten tunnistamisesta. DJI L2 -laserkeilaimella tuotettu pistepilviaineisto mahdollistaa erittäin tarkan, muutaman senttimetrin tarkkuudella toteutettavan maastomallinnuksen. Tällaisen aineiston perusteella voidaan muodostaa digitaalisia korkeusmalleja (DEM), joiden avulla voidaan analysoida esimerkiksi maaston kaltevuutta, veden luonnollisia kulkureittejä ja mahdollisia tulvavaara-alueita.

Tässä raportissa käsitellään DJI Terra-, Vectorworks Landmark- ja Twinmotion-ohjelmistojen käyttöä pistepilviaineiston käsittelyssä, analysoinnissa ja visualisoinnissa. ILMARA-hankkeen yhteydessä pistepilviaineistoa hyödynnettiin taloyhtiön piha-alueen ja puistoalueen hulevesien liikkeiden tarkastelussa.

Oikokadun taloyhtiön piha-alueella suoritettussa analyysissä selvitettiin maaston kallistuksia ja pintavesien ohjautumista. Tulosten perusteella havaittiin kriittisiä kohtia rakennuksen läheisyydessä. Palomiehenpuistossa suoritettiin laajempi tulvatilannemallinnus, jossa tutkittiin puiston halki kulkevan ojan vedenpinnan vaihtelun vaikutuksia. Simulaatioilla arvioitiin veden mahdollisia kulkureittejä ja tulva-alueita eri korkeustasoilla. Tuloksia verrattiin Suomen Ympäristökeskuksen (SYKE) Tulvakeskuksen yleiseen hulevesitulvakarttaan, ja havainnot olivat pääosin yhteneväisiä.

Laserkeilauksen tuottama pistepilviaineisto osoittautui erittäin käyttökelpoiseksi maastonmuotojen ja hulevesien hallinnan analysoinnissa.

2 Laserkeilaus

Kaukokartoitus on menetelmä, jossa tietoa tutkittavasta kohteesta kerätään ilman, että ollaan kosketuksessa kohteen kanssa. Menetelmiä ovat satelliiteista, lentokoneista tai esimerkiksi drooneista suoritettavat mittaukset. 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.

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 keilauksen kanssa otetuista valokuvista. Toiminta drooneihin kiinnitetyillä laserkeilaimilla on pitkälle automatisoitua algoritmien työtä, jota hallitaan laitteistoa ohjaavilla sovelluksilla ja tietokoneohjelmilla.

2.1 Laitteisto

ILMARA-hankkeessa HAMK Oy hankki DJI:n valmistaman Matrice 350 RTK-droonin sekä DJI:n L2-laserkeilaimen (Kuva 1.) Yhdistelmän suurin sallittu lentoonlähtöpaino on 9,2 kg, mitat 81 x 67 x 47 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-kategoriassa SAIL II-tasolla oli mahdollista.



Kuva 1. DJI:n laserkeilain L2 on kiinnitetty droonin alapuolelle.

Laitteistossa käytetyn paikannuksen tarkkuutta parantaa RTK-palvelu (Real Time Kinematic), jota käytetään GNSS-signaalin lisäksi. Hankkeessa oli käytössä Maanmittauslaitoksen FINPOS RTK-palvelu. DJI 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.

2.2 Toimintalupa

Drooneilla tapahtuvaa kaukokartoitusta säädellään EU-tasolla ja Suomessa noudatetaan EASA:n eli European Union Aviation Safety Agency laatimia sääntöjä. EASA:n sääntelyn keskeiset kohdat ovat riskiperustainen lähestymistapa, operaattorin eli 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.

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.

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)

Lisäksi tarvitaan todistukset laitteiston soveltumisesta aiottuun toimintakategoriaan. EASA on määritellyt eri kategorioihin drooneille C-merkinnän, jotka jakautuvat 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, joka vähentää iskun vaikutusta maanpinnalla mahdollisessa vikatilanteessa. 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.

Toiminta erityinen-kategoriassa edellyttää ilma-aluksen pilotilta koulutusta sekä perehtyneisyyttä aiheeseen. Traficomien 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 vastuuvakuutusta.

ILMARA-hankkeessa HAMK haki Traficomilta toimintalupaa erityinen kategoriassa. 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.

3 Pistepilviaineiston tarkastelu

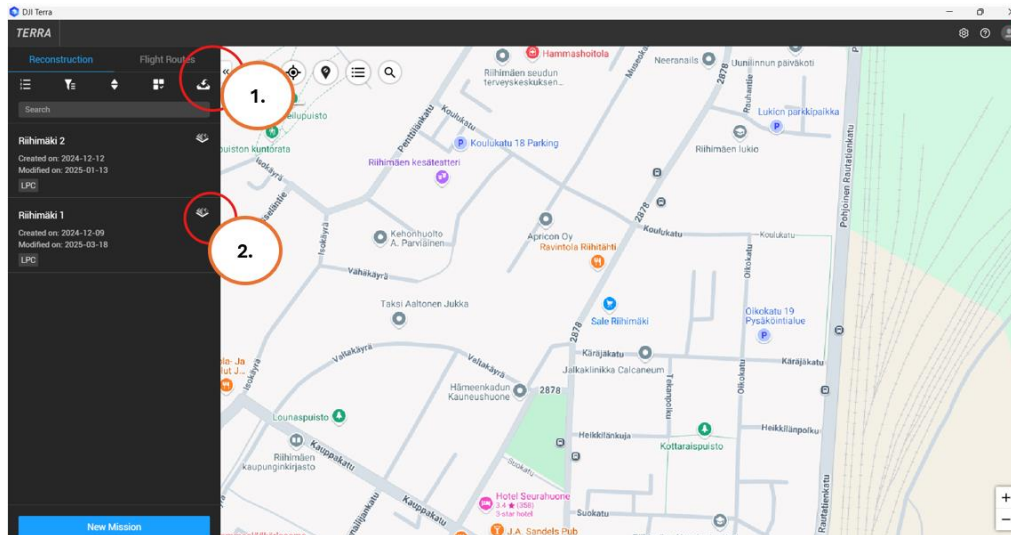
Pistepilviaineisto muodostuu joukosta koordinaattipisteitä, jotka edustavat mitattavan alueen pinnanmuotoja ja rakenteita. DJI L2 -laserkeilaimella voidaan saavuttaa muutaman senttimetrin tarkkuus, mikä tekee siitä erinomaisen lähteen tarkkojen maastomallien luomiseksi. Kun pistepilviaineisto muunnetaan digitaalseksi korkeusmalliksi (DEM) se voi tarjota arvokasta tietoa maaston kaltevuudesta, veden luonnollisista kulkureiteistä ja mahdollisista tulvavaara-alueista. ILMARA-hankkeen yhteydessä pistepilviaineistoa käytettiin taloyhtiön piha-alueen ja puistoalueen hulevesien liikkeen tarkasteluun, mutta pistepilviaineistoa voidaan hyödyntää monipuolisesti myös minkä tahansa suunnittelukohteen lähtötietojen kartoituksessa ja analysoinnissa.

3.1 DJI Terra -ohjelmisto

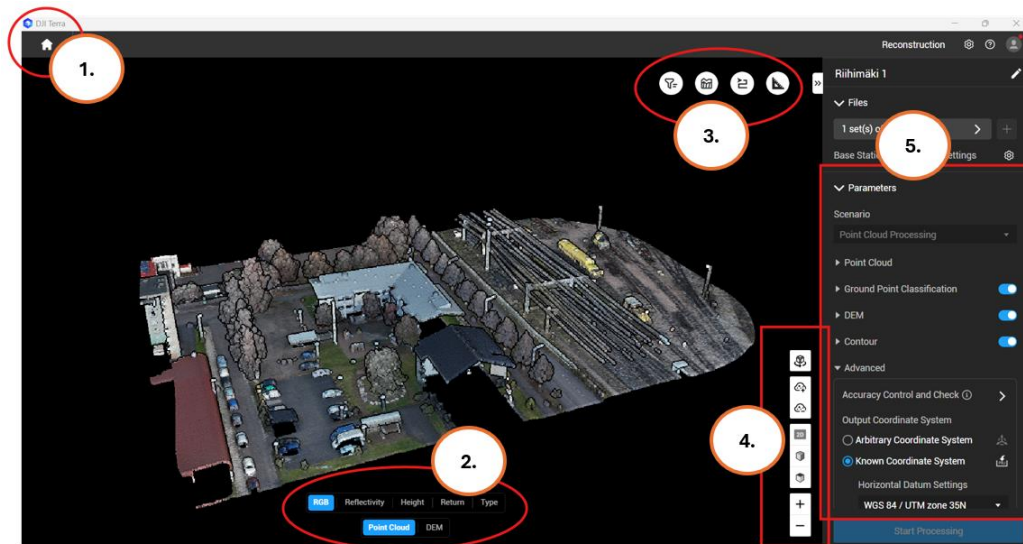
DJI Terra V4.4.6 on pistepilviaineiston tarkasteluun ja aineiston tiedostomuutoksiin kehitetty ohjelmisto. Ohjelmassa voidaan tarkastella pistepilviaineistoa 3d-mallina erilaisilla asetuksilla. Ohjelma mahdollistaa myös leikkauskuvat halutuista kohdista. ILMARA -hankkeen yhteydessä on tutustuttu ainoastaan ohjelmiston ilmaisversioon, jonka pystyy lataamaan valmistajan www-sivuilta.

3.1.1 Materiaalin käsittely DJI Terrassa

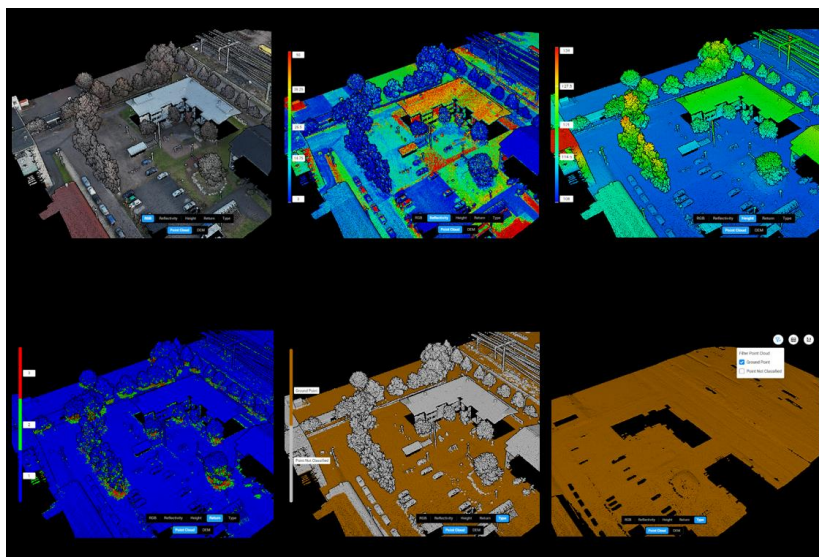
Projekti tuodaan DJI Terraan import-painikkeesta (Kuva 2) ja kun aineisto tai aineistot on tuotu ohjelmaan, voidaan aloittaa pistepilviaineiston tarkastelu (Kuvat 2-5). Ohjelma käyttää taustakarttana Googlen karttoja ja koordinaattijärjestelmänä WGS84 (EPSG:4326).



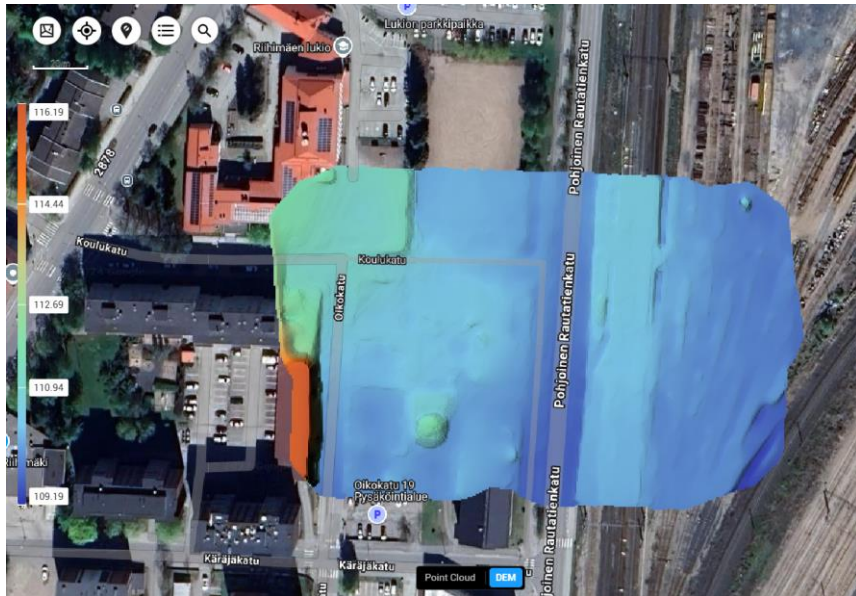
Kuva 2. DJI Terran aloitusnäkymä. Import-painikkeesta (1.) tuodaan pistepilviaineisto ohjelmaan ja Enter Mission -painikkeesta (2.) päästään tarkastelemaan aineistoa.



Kuva 3. DJI Terran pistepilven tarkastelu näkymä. Koti-painikkesta (1.) päästään edelliseen ikkunaan eli valitsemaan tarkasteltavaa pistepilviaineistoa. Alaosan painikkeista (2.) voidaan valita suodatin/värimalli, miten pistepilviaineistoa halutaan tarkastella. Yläosan painikkeista (3.) voidaan suodattaa pistepilven pisteitä, ottaa leikkauskuvia, näyttää lentorata ja esimerkiksi mitata etäisyyksiä ja pinta-aloja. Sivupainikkeesta (4.) löytyy zoom- ja näkymäpainikkeita. Helpommin mallin tarkastelu tapahtuu kuitenkin hiiren rullan avulla. Sivupaneelissa (5.) on asetuksia pistepilviainestosta. Näihin tutustutaan tarkemmin, kun käsitellään aineiston exportointia esim CAD-ohjelmaan.

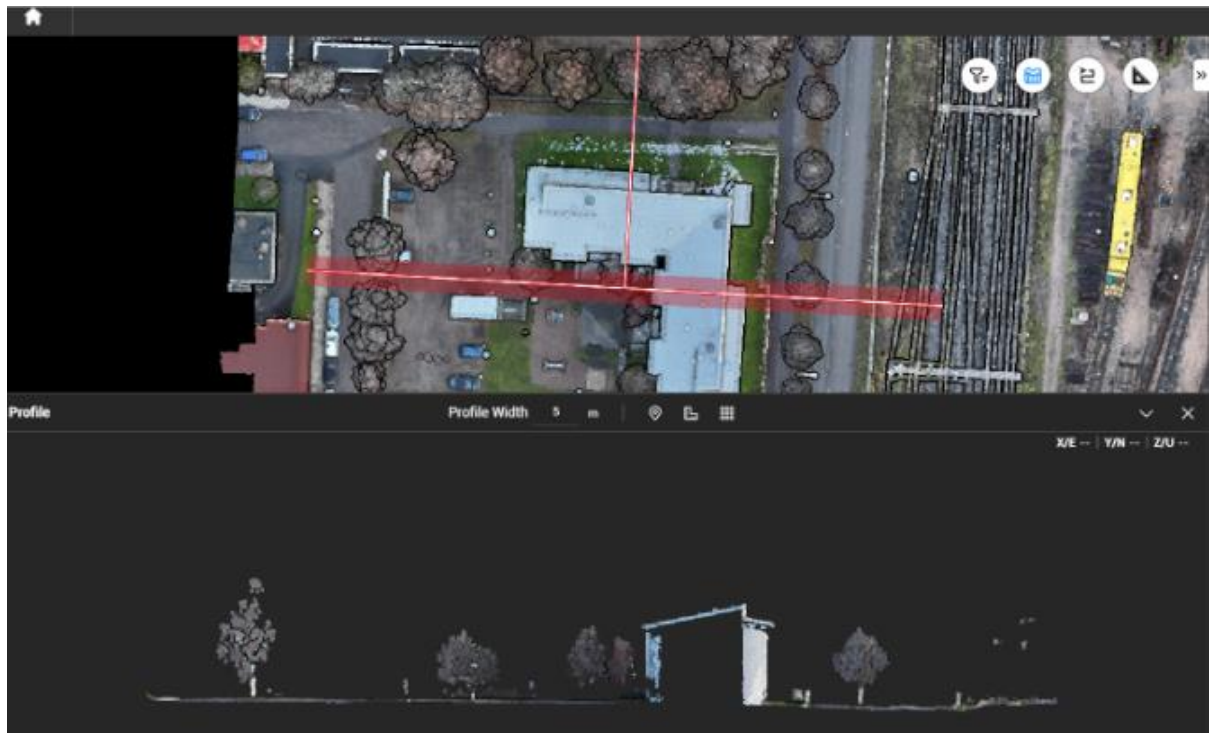


Kuva 4. DJI Terrassa pistepilviaineistoa voi tarkastella tarpeen mukaan erilaisilla asetuksilla. Halutessaan mallista saa näkyviin pelkät maanpinnan pisteet.



Kuva 5. Korkeusmalli DJI Terrassa. Ohjelma käyttää taustakarttana Googlen karttapohjia ja WGS84 (EPSG:4326) -koordinaattijärjestelmää. Pienempien korkeuserojen havainnointi on vaikeaa, sillä malli antaa värikoodatun mallin. Pienin mittakaava on 1:500.

DJI Terrassa voidaan ottaa myös leikkauskuvia halutuista kohdista. Leikkauskuvat antavat hyvän lähtökohdan tontin pinnanmuotojen ja tilarajausten tarkasteluun. (Kuva 6)

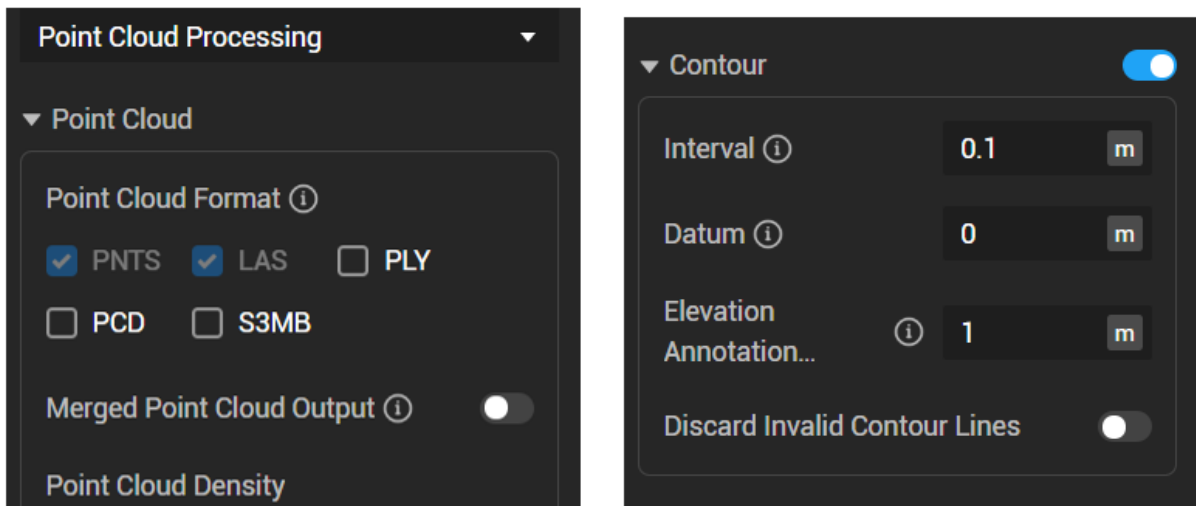


Kuva 6. Leikkauskuva antaa tietoa korkeuseroista ja pinnanmuodoista. Leikkauskuvalle pystyy myös esimerkiksi havainnollistamaan tilarajauksia ja puiden korkeuksia.

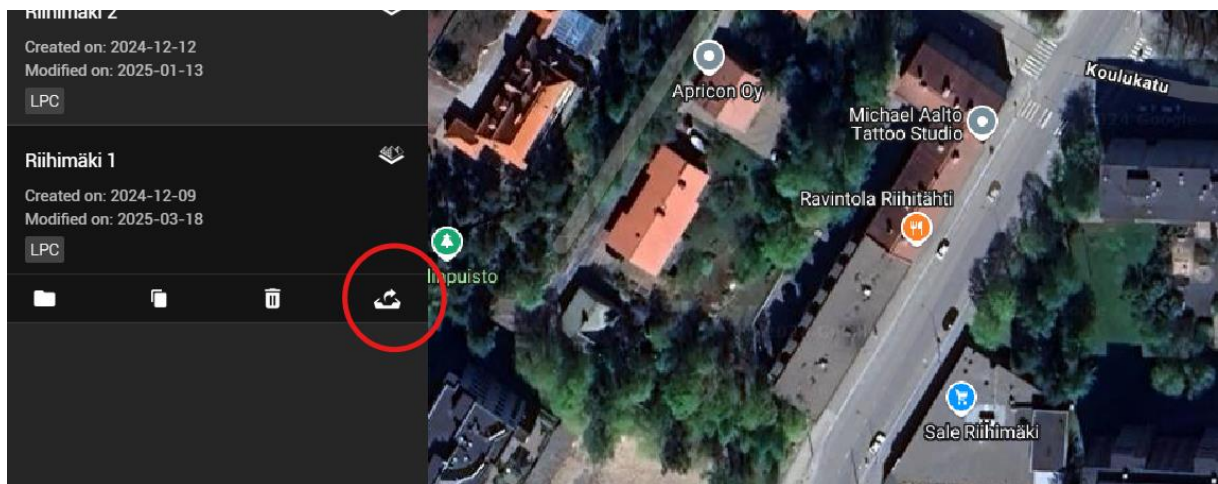
3.1.2 Tiedostojen exportointi

Mikäli pistepilviaineistosta haluaa tehdä tarkempaa analyysiä tai haluaa käyttää sitä suunnittelutyön pohjana, kannattaa se muuntaa cad-ohjelmia tukeviin tiedosto-muotoihin. Sivupaneelista löytyy kohta Point Cloud Processing (Kuva 7), jonka alta kannattaa huomioida kaksi kohtaa. Pointcloud Format -kohdassa pystyy valitsemaan pistepilven tiedostotyyppin. Oletuksena on päällä yleiset pistepilvitiedostomuodot .PNTS ja .LAS. Countour-kohdassa voidaan määrittää korkeuskäyrien tiheys. Jos sivupaneelissa tekee muutoksia asetuksiin, pitää malli prosessoida uudelleen (Start processing) jotta valitut asetukset tulee malliin mukaan.

Prosessoinnin jälkeen palataan aloitusikkunaan ja painetaan Export -painiketta (Kuva 8). Tämän jälkeen valitaan tallennuspaikka pakatulle aineistolle.



Kuva 7. Tärkeitä kohtia ulkopuolisiin ohjelmistoihin exportoidessa. Point Cloudissa määritetään pistepilven tiedostomuoto ja Contour-kohdassa määritetään korkeuskäyrien tiheys (Interval).



Kuva 8. Export-painikkeesta voidaan tallentaa aineisto jatkokäyttöä varten.

3.2 Vectorworks Landmark -ohjelmisto

Vectorworks Landmark on maisemasuunnittelun CAD-ohjelmisto, jossa on monipuoliset 2d- ja 3d-ominaisuudet. Vectorworks tukee yleisiä pistepilvitiedostomuotoja, kuten LAS, LAZ ja PTS, ja pistepilven muodostamaa 3d-mallia voidaan tarkastella sellaisenaan ohjelmassa tai sitä voidaan hyödyntää esimerkiksi olemassa olevien rakennusten ja rakenteiden mallintamisessa. 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 tai potentiaalisista hulevesien viivytys/imeytyspaikoista sekä tulvareiteistä. 3d-mallista voidaan ottaa myös leikkauskuvia ja CAD-ohjelmassa mittoja ja kaltevuuksia on helpompi määrittää ja tarkastella.

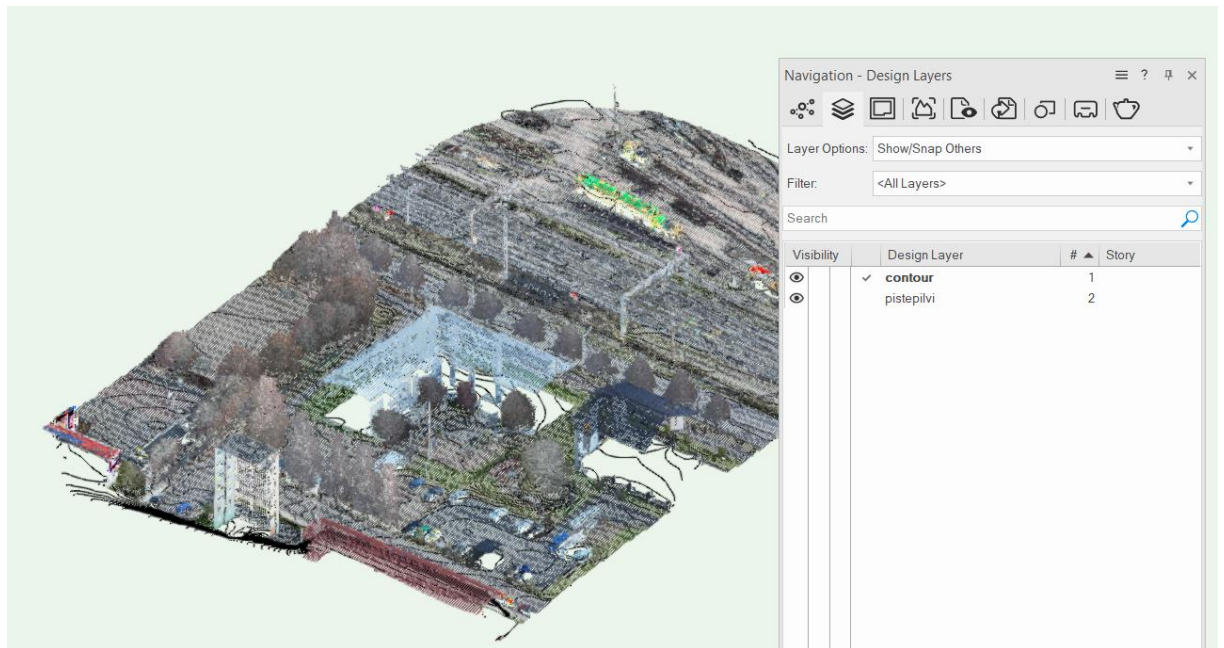
Vectorworks on kaupallinen ohjelmisto. Oppilaitoksille on olemassa ilmainen oppilaitoslisenssi. Kaupallisen vuositilauksen hinta on noin 1500 €.

3.2.1 Aineiston importointi

Aineisto kannattaa tuoda Vectorworks Landmarkiin oikeassa järjestyksessä, jotta sekä pistepilviaineisto että korkeuskäyrät saadaan asemoitua ja kohdistettua päällekkäin ilman erikoissäätöjä (Kuva 9).

Pistepilviaineisto tuodaan ensin ja tämän jälkeen vasta korkeuskäyrät.

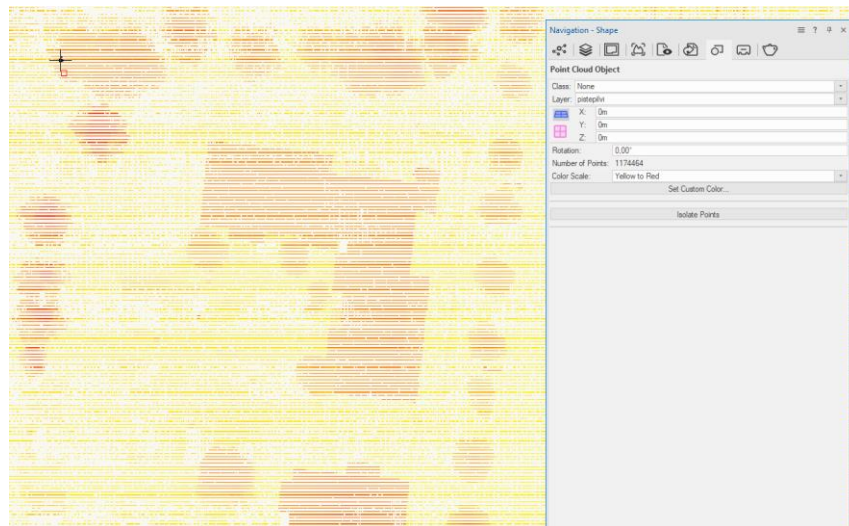
1. Vectorworksissä valitaan mittayksiköiksi metrit (m). Valitaan File > Document Settings > Units
2. Tuodaan pistepilviaineisto (löytyy kansioista lidars > terra_las). Valitaan File > Import > Import Point Cloud. **Pistepilvi-aineisto tuodaan millimetreinä!** Pistepilviaineisto tulee aktiiviselle layerille, jonka voi nimetä esim "pistepilvi"
3. Tuodaan korkeuskäyrät dxf-tiedostona (löytyy kansioista lidars>terra_contour). Valitaan File > Import > Import single dxf/dwg. **Dxf tuodaan metreinä, all 3d-asetuksilla ja georeferoituna (EPSG: 4326/WGS84)** Korkeuskäyrät tulee uudelle layerille "contours"



Kuva 9. Näkymä Vectorworksissä importoinnin jälkeen. Aineistot on kohdistettu päällekkäin.

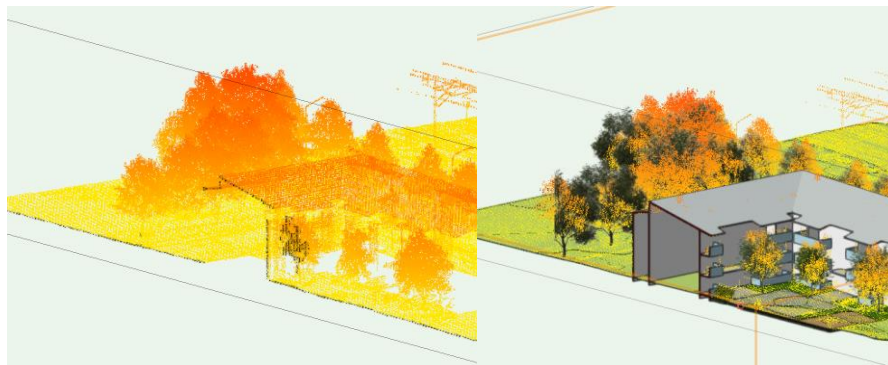
3.2.2 Rakennusten mallinnus pistepilven avulla

Pistepilveä pystyy hyödyntämään kohteen 3d-mallinnuksessa, mikäli muuta aineistoa ei ole saatavilla. Aineistosta saa nopeasti esimerkiksi määritettyä rakennusten ja kasvillisuuden paikat. Pistepilven värimoodia voidaan muuttaa, jolloin mallinnettavat kohteet erottuvat paremmin (Kuva 10).

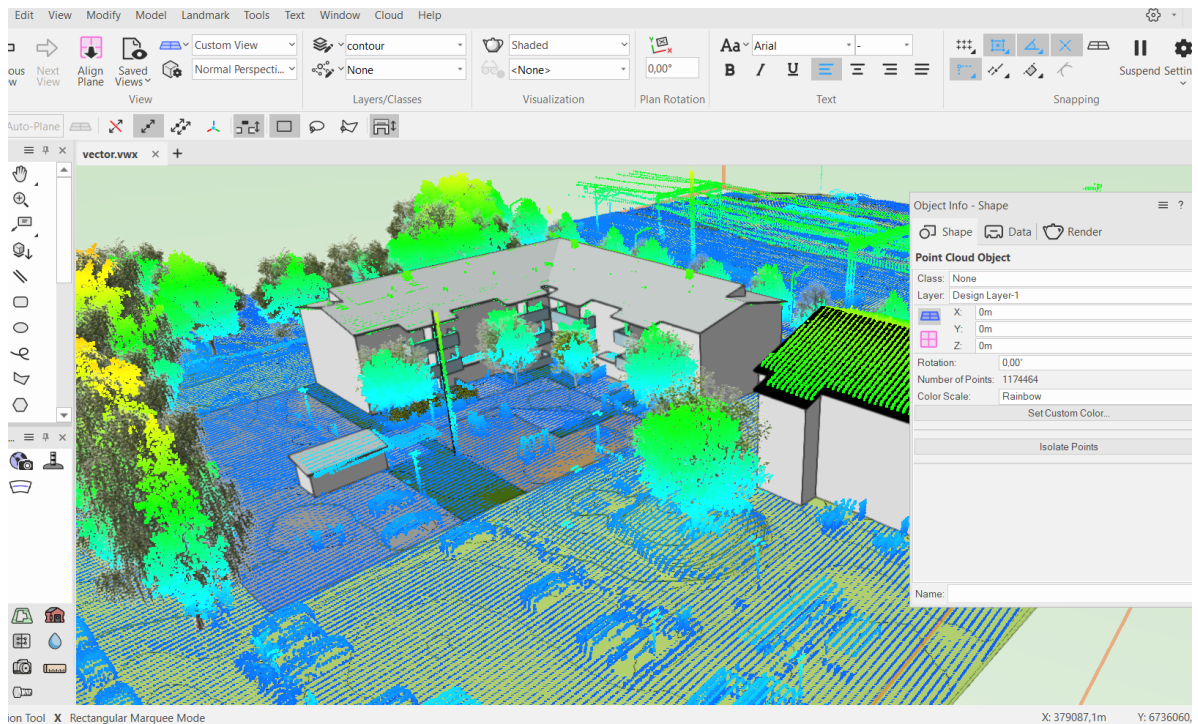


Kuva 10. Värimoodia (Color Scale) muuttamalla rakennukset ja kasvillisuus erottuvat paremmin, jolloin esimerkiksi puut saa nopeasti korvattua cad-ohjelman symboleilla.

Rakennusten seinät ja kattokaltevuudet pystyy mallintamaan Clip Cube-toiminnolla (View > Clip Cube). Clip Cubella pystytään ottamaan viipaleleikkauksia pistepilvestä tai mistä tahansa 3d-mallista. (Kuvat 11 ja 12)



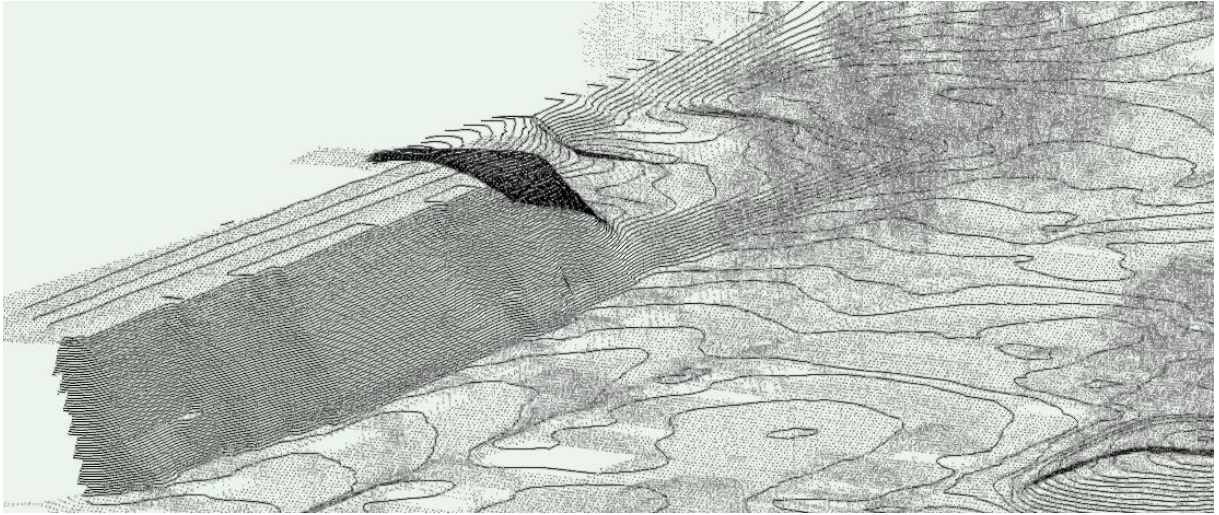
Kuva 11. Kuvapari rakennuksen mallinnusvaiheesta. Pistepilvestä pystyy hahmottamaan esimerkiksi rakennusten seinien korkeudet ja kattokaltevuudet.



Kuva 12. Pistepilven avulla pystyy esimerkiksi mallintamaan rakennukset paikoilleen. Myös pistepilvipuiden tilalle voi laittaa ohjelman omia 3d-puita, mikäli myöhemmässä vaiheessa haluaa sammuttaa pistepilvitason. Tässä pistepilven läpi näkyy myös Vectorworksissä luotu maastomalli korkeuskäyrineen ja mallinnetut rakennukset.

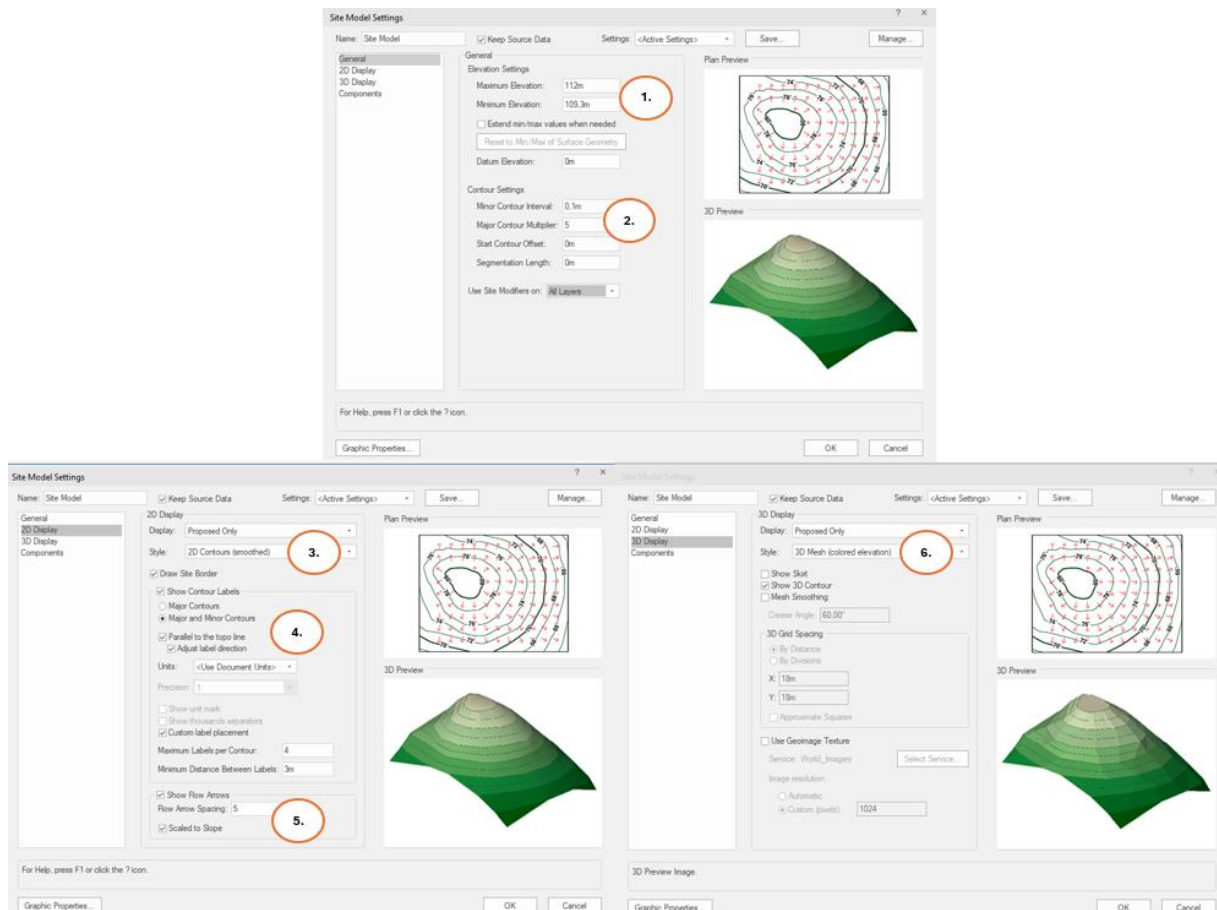
3.2.3 Maastomalli ja leikkauskuvat

DJI Terrasta tuodut korkeuskäyrät tulevat Vectorworksiiin 3d-polygoneina, joista voi suoraan luoda maastomallin. Aineisto kannattaa silmäillä läpi, jotta mahdolliset maastomallia vääristävät käyrät voidaan jättää huomioimatta. DJI Terra on saattanut luoda maanpinnan käyriä myös rakenteista (Kuva 13).

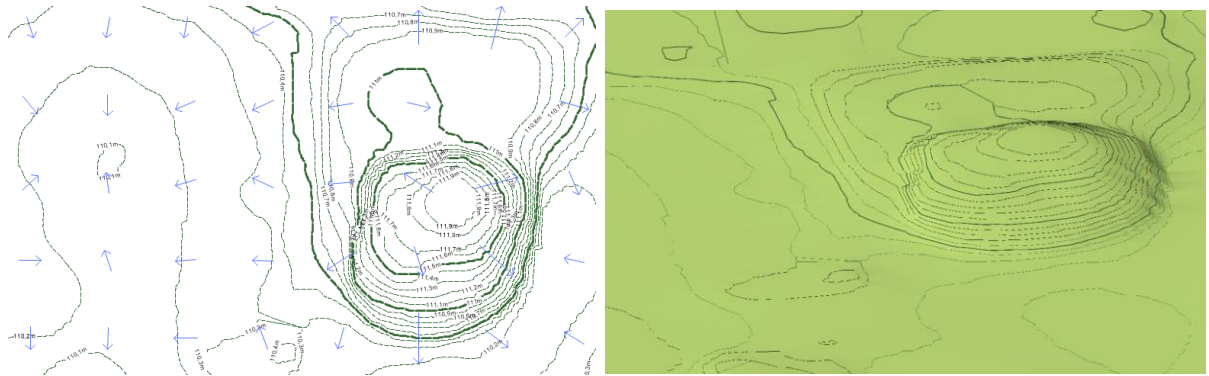


Kuva 13. 3d-polygoneja Vectorworksissä. Vasemmalla oleva jyrkkäreunainen luiska kannattaa jättää huomioimatta maastomallia tehdessä, sillä DJI Terra on tulkinut parkkihallin maastonmuodoksi.

Maastomalli tehdään valituista 3d-polygoneista komennolla Landmark > Create Site Model > Create Site Model from Source Data. Tämän jälkeen voidaan valita maastomallin 2d- ja 3d -esitystapa. Näitä asetuksia pystyy myös muokkaamaan jälkikäteen. (Kuvat 14 ja 15).



Kuva 14. Maastomallin tekovaiheen asetuksia, joita pystyy myös vaihtamaan jälkikäteen. General-välilehdellä voidaan vielä tarkistaa maaston maksimi- ja minimi korkeudet (1.) ja valita korkeuskäyrien esitystiheys (2.). 2D Display -välilehdellä määritetään maastomallin esitystapa 2d-tilassa. Korkeuskäyrien kulmikkuutta voidaan esimerkiksi pehmentää (3.) ja voidaan valita, näytetäänkö korkeusarvoja kaikilla korkeuskäyrillä (4.). Tällä välilehdellä voidaan myös laittaa päälle nuolet havainnollistamaan hulevesien valumista. (5.) Scaled to Slope auttaa hahmottamaan eroosioherkät alueet. 3D Display välilehdellä valitaan maastomallin esitystapa 3d-tilassa (6.)



Kuva 15. Kuvapari maastomallin 2d- ja 3d-näkymistä.

3d-mallista voidaan ottaa helposti myös leikkauskuvia (View > Create Section Viewport). Leikkauskuva antaa tietoa korkeuseroista ja pinnanmuodoista ja niiden avulla voidaan tutkia maan pinnan kallistuksia todetuissa ongelmakohdissa tai alueen yleisilmettä (Kuva 16). Mittoja saadaan määritettyä CAD-ohjelmassa helpommin ja tarkemmin kuin DJI Terrassa.



Kuva 16. Leikkauskuva pistepilven avulla mallinnetusta piha-alueesta.

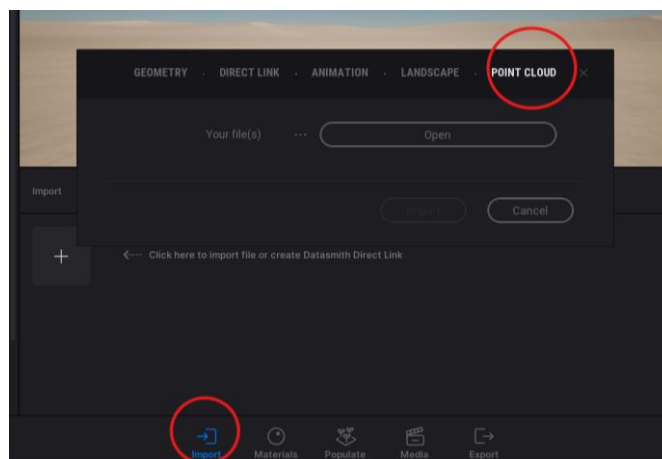
3.3 Twinmotion -ohjelmisto

Twinmotion on Epic Gamesin kehittämä reaaliaikainen 3D-visualisointi- ja animaatio-ohjelmisto, joka on suunniteltu erityisesti arkkitehdeille, kaupunkisuunnittelijoille ja maisema-arkkitehdeille. Se mahdollistaa mallien nopean muuntamisen korkealaatuisiksi visualisoinneiksi, animaatioiksi ja VR-esityksiksi. Ohjelma käyttää reaaliaikaista renderöintiä, jolloin käyttäjät voivat nähdä muutokset välittömästi ilman pitkiä renderöintiaikoja. Ohjelmassa voidaan myös simuloida säätä sekä vuorokauden -ja vuodenaikoja, jolloin ympäristöolosuhteita voidaan muuttaa helposti. Ohjelma on ilmainen oppilaitoksille ja opiskelijoille sekä pienyrityksille, joiden liikevaihto vuodessa on alle miljoona dollaria.

Ohjelmaan voidaan tuoda 3d-malleja useista CAD-ohjelmista ja 3d-ohjelmista, mutta ohjelma tukee myös pistepilvitiedostoja. Tässä tarkasteltiin pistepilviaineiston hyödyntämistä suoraan ohjelmassa.

3.3.1 Aineiston importointi

Aineisto voidaan tuoda Twinmotioniin las-tiedostomuodossa (Kuva 17) ja näkymä ohjelmassa on hyvin realistinen (Kuva 18). Mallia on helppo pyörittää ja tarkastella. Ainoa ongelma on, että malli ei mene todellisille koordinaateille, joten esimerkiksi maaston korkeusarvot eivät pidä paikkansa.



Kuva 17. Pistepilviaineiston importointi Twinmotioniin.



Kuva 18. Pistepilviaineisto Twinmotionissa.

3.3.2 Aineiston käsittely

Pistepilviaineisto toimii Twinmotionissa lähinnä tausta-aineistona. Ohjelmassa voidaan esimerkiksi simuloida, miten uusi kasvillisuus vaikuttaisi alueen ulkonäköön tai varjostusolosuhteisiin. Ohjelmassa on paljon erilaista kasvillisuutta: puita, pensaita, niittykasveja. Kuvassa 19 on kuvapari, jossa alkuperäinen tilanne ja kasvillisuudella muokattu tilanne.



Kuva 19. Twinmotionissa voi lisätä esimerkiksi kasvillisuutta, jolloin voi havainnollistaa pistepilven päälle erilaisia suunnitelmaratkaisuja.

Twinmotionissa löytyy myös simuloitu merenpinta, jonka korkeutta voi manuaalisesti tai numeerisesti säätää. Merenpintaa voidaan käyttää soveltavasti veden pinnan mallintamisessa, esimerkiksi hulevesiaiheissa tai tulvareittien tarkastelussa. Kuvassa 20 on kuvapari Palomiehenpuiston oja-painanteesta ilman vettä ja veden kanssa.



Kuva 20. Twinmotionissa voidaan simuloida vesipintoja Ocean height -toiminnolla.

4 Tulokset

Riihimäellä laserkeilattiin kaksi kohdetta 15.11.2024: Taloyhtiön piha-alue (Oikokatu 21) ja Palomiehenpuisto. Kohteet on esitetty kartalla kuvassa 21.



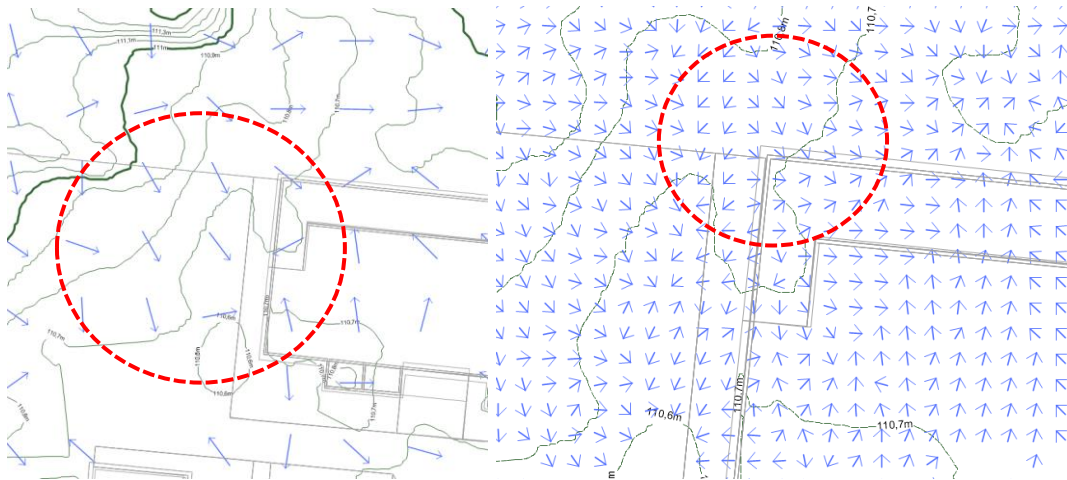
Kuva 21. Laserkeilatut kohteet.

4.1 Oikokatu

Ensimmäinen kuvauskohde oli taloyhtiön piha-alue Riihimäellä. Pistepilven tarkkuus antaa hyvän pohja-aineiston tonttitasoiseen hulevesitarkasteluun. Pistepilviaineisto ja korkeuskäyrät tuotiin Vectorworks Landmark -ohjelmistoon, jossa aineistosta tehtiin maastomalli ja mallinnettiin piha-alue rakennuksineen ja kasvillisuusalueineen.

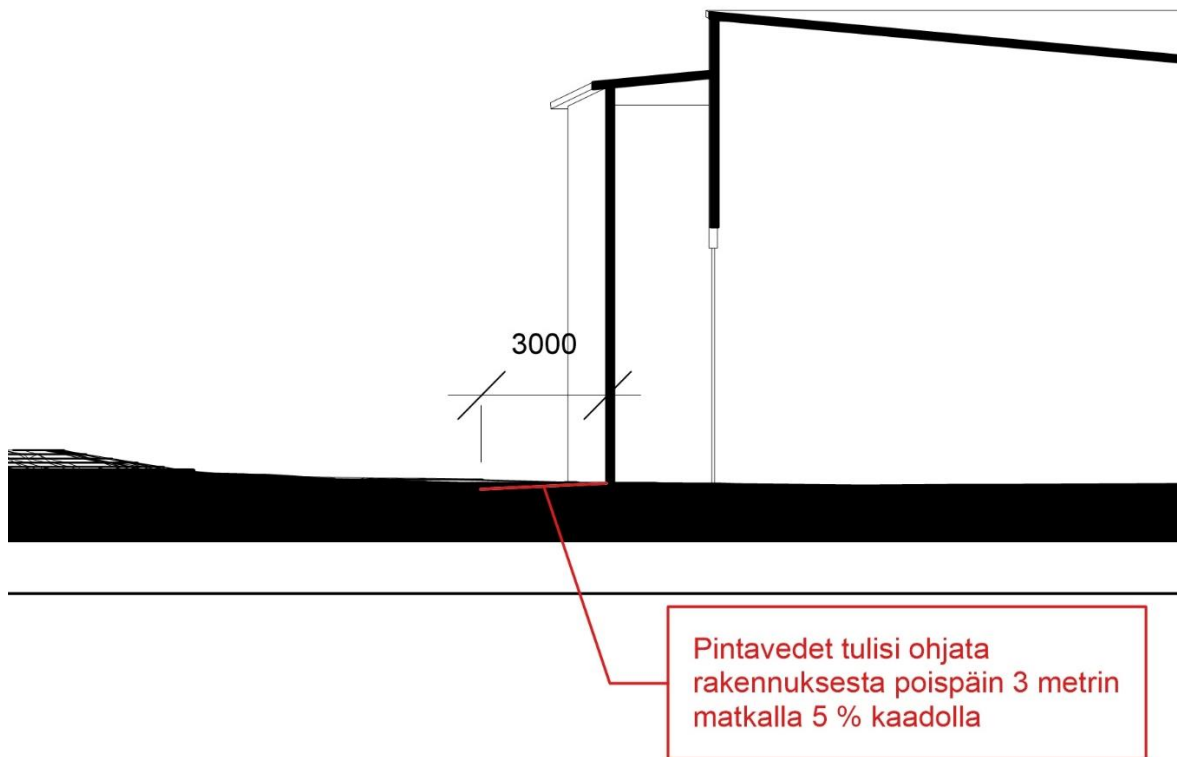
Koska maastomallissa on mahdollista havainnollistaa pintavesien valumissuuntia, ongelmakohdat löytyivät nopeasti. Nuolet osoittivat kohti rakennuksen länsiseinää. Nuolien etäisyys oli ensin asetettu 5 metrin ruutuihin, joka antoi tonttitason mittakaavassa hyvän yleiskuvan. Kun nuolien etäisyys asetettiin 1 metrin ruutuihin, saatiin yksityiskohtaisempaa tietoa ja ongelmakohdaksi hulevesien kannalta osoittautui erityisesti rakennuksen luoteisnurkka. (Kuva 22)

ILMARA -hankkeessa on tutkittu TP1:n yhteydessä saman taloyhtiön seinälämpötiloja ja länsipäädyn seinässä on ollut lämpötilamittausten perusteella viitteitä kosteus-ongelmasta. Pintavesien ohjautuminen luoteisnurkkaan saattaa olla yksi kosteutta aiheuttava tekijä.



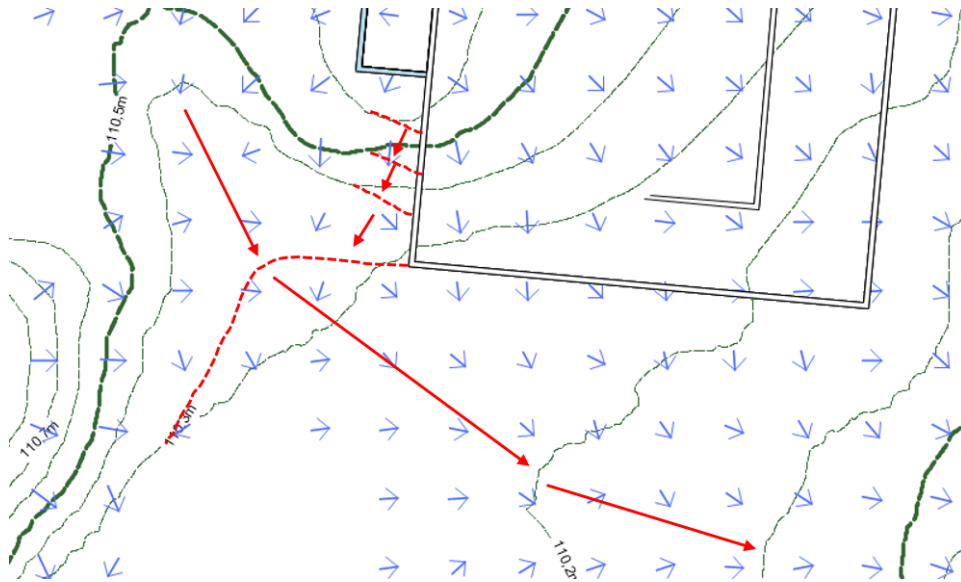
Kuva 22. Maastomallissa on mahdollista havainnollistaa pintavesien valumissuuntia. Esimerkiksi tässä tapauksessa rakennuksen länsipäädyssä nuolet osoittavat rakennuksen suuntaan. Tiheämmällä nuolien sijoittelulla päästään yksityiskohtaisempaan tarkasteluun.

Ongelmakohdasta otettiin myös leikkauskuva, josta nähtiin luoteiskulman maanpinnan kallistus tarkemmin. (Kuva 23) Tulosten perusteella voidaan ohjeistaa kiinnittämään huomiota maanpinnan kallistuksiin lähellä rakennusta ja huolehtimaan muutenkin kuivatuksesta esimerkiksi riittävällä salaojituksella.



Kuva 23. Maanpinnan pitäisi kallistaa rakennuksesta poispäin 3 metrin matkalla 5 %. Leikkauskuvan avulla voidaan havainnollistaa maanpinnan nykyistä tilannetta ja tarvittavia toimenpiteitä.

Myös rakennuksen lounaiskulmalla on nähtävissä pienempi maan pinnan kallistusongelma, joka olisi korjattavissa pienillä muutoksilla (Kuva 24).



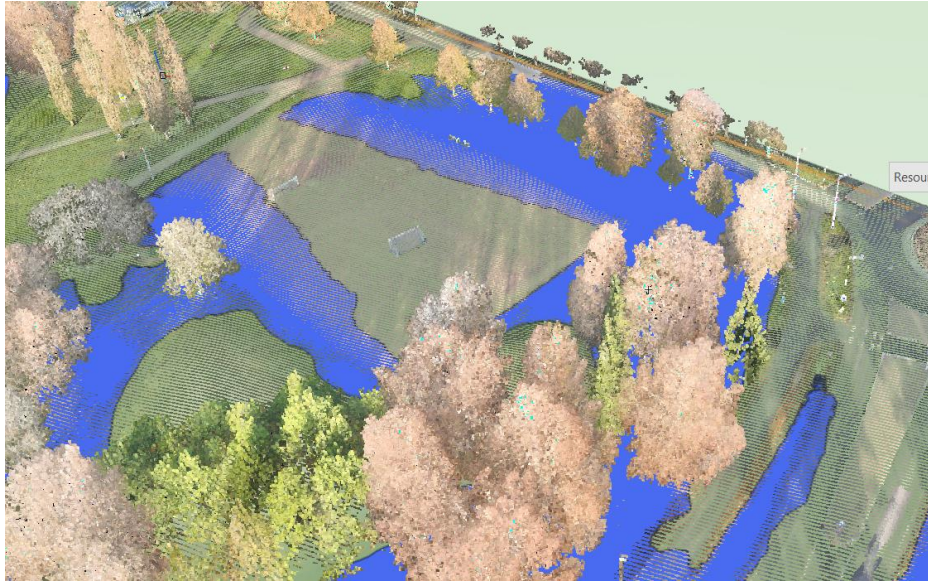
Kuva 24. Hahmotelmat pinnantasauskäyrien muutoksista rakennuksen lounaiskulmalla. Vesiä voisi ohjata rakennuksesta poispäin pienillä muutoksilla.

4.2 Palomiehenpuisto

Toinen kuvauskohde oli Palomiehenpuisto Riihimäen keskustassa. Pistepilviaineisto ja korkeuskäyrät tuotiin Vectorworks Landmark-ohjelmistoon, jossa aineistosta tehtiin maastomalli. Tässä kohteessa kokeiltiin, miten maastomallilla ja pistepilvellä voitaisiin havainnollistaa tulvatilannetta ja tulvareittejä. (Kuvat 25 ja 26)



Kuva 25. Kuvasarja tulvatilannemallinnuksesta Palomiehenpuiston läpi menevän ojan täyttyessä. Tarkastelua tehtiin vedenpinnan vaihtelulla +107.10 - +109.10.



Kuva 26. Palomiehenpuiston kenttäalueen puoleinen tulvatarkastelu.

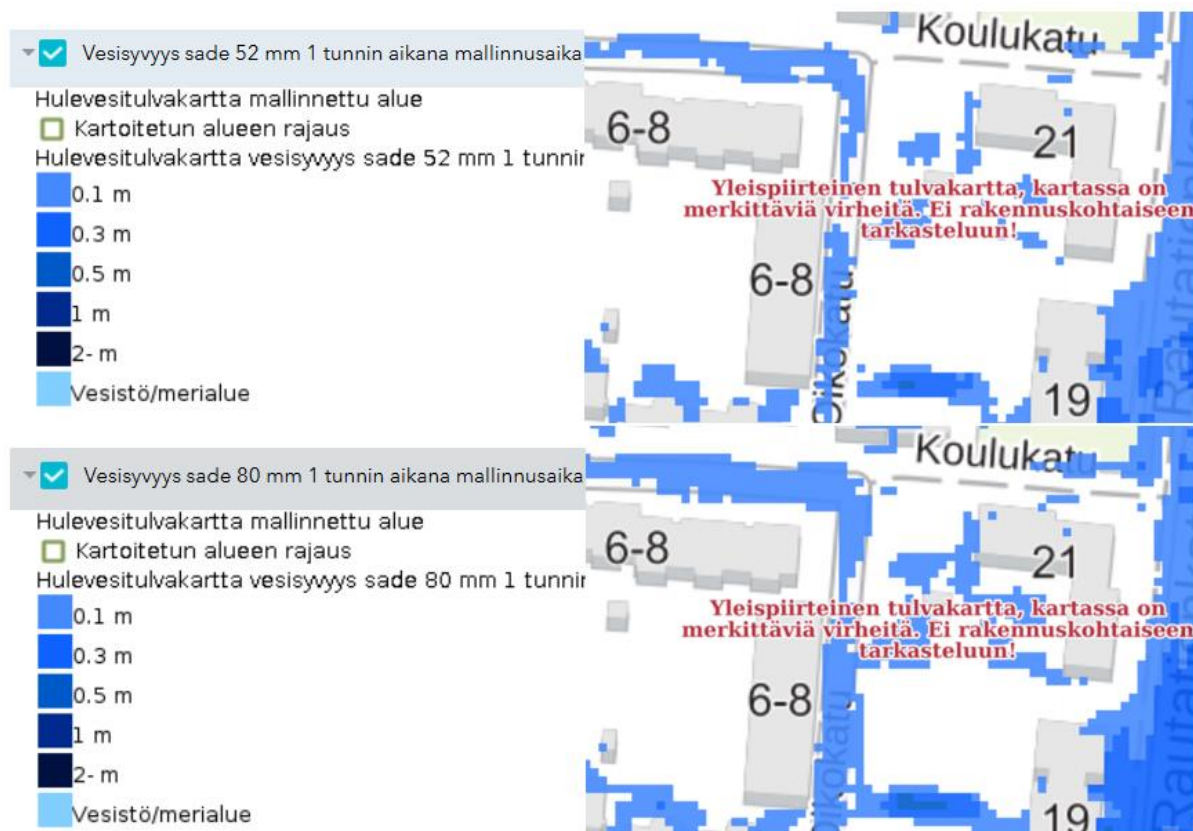
Myös Twinmotionilla voidaan tehdä tulvatarkastelua, mutta koska malli ei mene koordinaateille, niin tarkastelu on ainoastaan visuaalista. (Kuva 27)



Kuva 27. Tulvatarkastelu Twinmotion-ohjelmassa. Vedenpinnan todellinen korkeus ei ole saatavissa, koska malli ei ole korkeustason suhteen koordinaatistossa.

4.3 Vertailu Tulvakeskuksen yleiseen hulevesitulvakarttaan

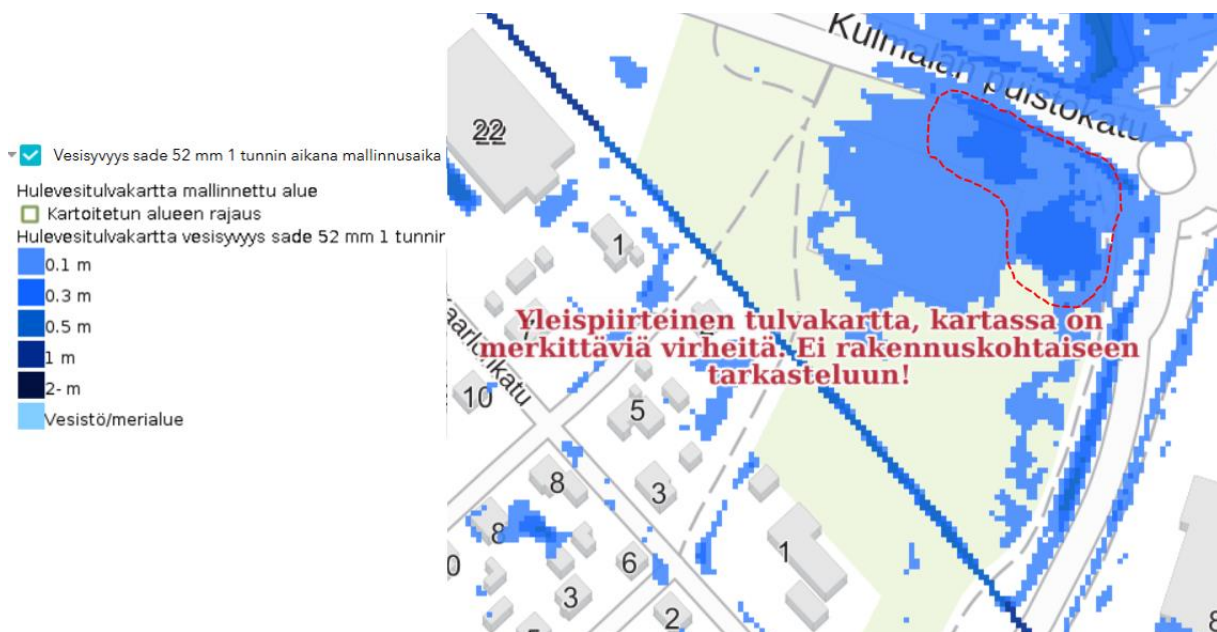
Mallinnuksia verrattiin Suomen ympäristökeskuksen (SYKE) Tulvakeskuksen yleiseen hulevesitulvakarttaan (Kuvat 28-30) ja tulokset olivat hyvin samankaltaisia. Pelkästään maaston pinnanmuotoihin perustuvassa tarkastelussa ei pysty kuitenkaan huomioimaan maaperän veden läpäisevyyttä eikä sadevesikaivojen vastaanottokykyä, joten tarkastelu ei ole kattava. Pistepilviaineisto soveltuu kuitenkin hyvin vesien liikkeiden tarkasteluun ja voi olla apuna tulvareittien ja viivytyspainanteiden suunnittelussa.



Kuva 28. Myös Tulvakeskuksen yleisen hulevesitulvakartan mukaan Oikokadun kiinteistön länsipäätyyn ja lounaiskulmaan kohdistuu tulvimisriski. (Syke)



Kuva 29. Palomiehenpuiston ojaa ympäröivän alueen tulvatarkastelu Tulvakeskuksen yleiseen hulevesitulvakartan mukaan. (Syke)



Kuva 30. Palomiehenpuiston kenttäalueen puoleinen tulvatarkastelu Tulvakeskuksen yleiseen hulevesitulvakartan mukaan. (Syke)

5 Johtopäätökset

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. Taulukkoon 1 on koottu laserkeilauksen hyötyjä ja haasteita.

Laserkeilauksen perusteella luodut digitaaliset maastomallit auttavat ymmärtämään alueen korkeuseroja ja maastonmuotoja ja helpottaa miettimään suunnitteluratkaisuja esimerkiksi esteettömien reittien suunnitteluun sekä hulevesien ohjaukseen ja hallintamenetelmiin. Ongelmakohdat pystyy 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 aurinkokennojen asennusta. Lisäksi pistepilvimallia voidaan käyttää kasvillisuuden ja maiseman kehittymisen seurantaan tietyllä aikavälillä.

Taulukko 1. Laserkeilauksen hyötyjä ja haasteita.

Hyödyt	Haasteet
○ Parantunut tarkkuus ja luotettavuus verrattuna perinteisiin menetelmiin ○ Nopeampi aineiston kerääminen ja analysointi. ○ Kustannustehokkuus pitkällä aikavälillä.	○ Korkeat alkuinvestoinnit ja laitteistovaatimukset ○ Lennätys vaatii erityistaitoja ja -lupia ○ Aineiston käsittely ja analysointi vaativat erityisohjelmia ja -taitoja ○ Tietojen tarkkuuden varmistaminen ja mahdolliset virheet aineistossa

ILMARA-hankkeessa saatuja tuloksia:

DJI L2 -laserkeilaimella saadaan käyttökelpoista aineistoa tontin tarkasteluun ja jatkokäsittelyyn. Pistepilviaineistoa voidaan käyttää sellaisenaan 3d-mallina, mutta aineistoa voidaan jalostaa CAD-ohjelmissa myös eteenpäin

- Rakennusten ja rakenteiden mallintaminen
- Maastomallin luominen
- leikkauskuvat

3d-mallin avulla voidaan tehdä tarkempaa analyysiä hulevesien liikkeistä laserkeilatulla alueella, jolloin voidaan

- havainnoida haasteelliset kohdat ja esittää korjausehdotuksia (kuivatuksen varmistaminen, riittävät kallistukset rakennuksista ja rakenteista)
- löytää potentiaalisia hulevesien viivytyks- ja imeytyspaikkoja tontilla (kasvillisuusalueet, painanteet)
- miettiä vaihtoehtoisia tulvareittejä

Hankkeen yhteydessä pistepilvimallia tarkasteltiin kolmella eri ohjelmistolla: DJI Terra, Vectorworks Landmark ja Twinmotion. Taulukkoon 2 on koottu havaintoja ohjelmistoista.

Taulukko 2. Pistepilvimallin tarkasteluun käytettyjen ohjelmien ominaisuuksia.

	DJI Terra	Vectorworks	Twinmotion
Hinta	Ilmainen	Ilmainen oppilaitokset, opiskelijat ja opettajat Ammattilaislisenssi n. 1500€/vuosi	Ilmainen yksityishenkilöille ja pienyrityksille, jotka ovat tuottaneet alle miljoona dollaria viimeisen 12 kuukauden aikana, oppilaitokset ja opiskelijat. Bruttotulot yli 1 miljoona dollaria USD/vuosi: n. 530€/vuosi
Käyttö	Ei vaadi erikoisosaamista	Vaatii ohjelmisto-osaamista	Vaatii vähäistä ohjelmisto-osaamista
Käyttöjärjestelmä	Windows	Windows/MacOS	Windows/MacOS
Koordinaatistoon sidottu	Kyllä	Kyllä	Ei
Pistepilvimallin tarkastelu	3d-pistepilvimallin tarkastelu onnistuu	3d-pistepilvimallin tarkastelu onnistuu	3d-pistepilvimallin tarkastelu onnistuu
Muut ominaisuudet	Korkeusmalli Leikkauskuvat Pituudet, pinta-alat, tilavuudet pistepilvestä	Maastomalli Leikkauskuvat Mittatarkka työskentely (CAD-ohjelma) Visualisoinnit Monipuoliset kasvi ja kalustekirjastot	Laadukkaat visualisoinnit Monipuoliset kasvi ja kalustekirjastot

Muita huomioita	Soveltuu näytöltä tarkasteluun. Kuvamateriaali pikselöitynyttä, joten tarkkoja mittoja vaikea havaita.	Soveltuu erinomaisesti havainnekuvien ja leikkauskuvien tekoon. Tulvatarkastelua voidaan tehdä maastomallin perusteella 2d-tilassa (hulevesien liikkeitä nuolilla) ja 3d-tilassa simuloimalla veden pinnan korkeutta erillisellä kappaleella. Renderöintinopeus vaihtelee valitun laadun perusteella Koska malli on koordinaatistoon sidottu, tarkat valo/varjo analyysit onnistuvat hyvin.	Soveltuu erinomaisesti havainnekuvien tekoon, visuaalinen tulvatarkastelu meren pinnan vaihtelun avulla. Reaaliaikainen nopea renderöinti Voidaan käyttää yhdessä muiden ohjelmistojen kanssa, jolloin pistepilven lisäksi esimerkiksi muutakin mallinnusdataa käytössä.
-----------------	---	---	---

Lähteet

Syke Tulvakeskus, Yleispiirteinen hulevesikartta 2024 (testipalvelu)

<https://syke.maps.arcgis.com/apps/webappviewer/index.html?id=aa63362413914688b20b29b98f14f456> (haettu 20.3.2025)