



SEINÄJOEN AMMATTIKORKEAKOULU
SEINÄJOKI UNIVERSITY OF APPLIED SCIENCES

Henrikki Ojanen

Mäyräkallion luontokeskuksen 3D-mallinnus

Opinnäytetyö

Kevät 2022

Rakennustekniikan tutkinto-ohjelma



SEINÄJOEN AMMATTIKORKEAKOULU

Opinnäytetyön tiivistelmä

Tutkinto-ohjelma: Rakennustekniikka

Suuntautumisvaihtoehto: Talonrakennustekniikka

Tekijä: Henriikki Ojanen

Työn nimi: Mäyräkallion luontokeskuksen 3D-mallinnus

Ohjaaja: Marita Viljanmaa

Vuosi: 2022

Sivumäärä: 41

Liitteiden lukumäärä: 1

Tämän opinnäytetyön aiheena oli luoda virtuaalinen ympäristön 3D-malli nykyaikaisin menetelmin. Mäyräkallion luontokeskus on Pirkanmaalle sijoittuva yksityinen luontohanke. Se sisältää 25 m korkean lintutornin, vanhan hirsiladon, käymälän, tornin luo johtavan maasillan, grillikodan, hirsiaitan, lammen ja vanhan tervahaudan. Opinnäytetyötä tehtäessä tämä kokonaisuus oli rakenteilla, ja tekemällä koko alueesta virtuaalinen 3D-malli saatiin parempi kokonaisnäkemys siitä, mitä oltiin toteuttamassa.

Tässä opinnäytetyössä käydään läpi 3D-mallinnukseen liittyvää termistöä sekä erilaisia siihen liittyviä ohjelmistoja. Työssä esitellään 3D-mallinnusprojekti vaiheittain projektin kokonaiskuvan luomiseksi. Työtä täydennettiin lintutornin nostoon liittyvillä rasituslaskelmilla.

3D-mallinnus on tulossa merkittäväksi työkaluksi rakennusalan suunnittelussa, ja tämän työn tekeminen kehitti mukavasti valmiuksia sen laatuiseen työhön. Rasituslaskelmilla todennettiin se, että torni kesti nostotyöstä aiheutuvat rasitukset.

¹ Asiasanat: 3D-mallinnus, virtuaalitodellisuus, lintutorni

SEINÄJOKI UNIVERSITY OF APPLIED SCIENCES

Thesis abstract

Degree programme: Construction Engineering

Specialisation: Building Construction

Author: Henrikki Ojanen

Title of thesis: 3D-modeling of Mäyräkallio nature centre

Supervisor: Marita Viljanmaa

Year: 2022

Number of pages: 41

Number of appendices: 1

The subject of the thesis was to make a virtual 3D-model of the environment with modern methods. Mäyräkallio is a private nature project located in Pirkanmaa. It contains a 25 metre tall bird observation tower, an old log barn, an outhouse, a viaduct leading to the tower, a barbecue hut, a log cabin, and a historical tar grave. The thesis was a work in progress since the entirety was under construction. A virtual 3D-model of the whole area was made to get a bigger picture of the project.

The thesis contains information about 3D-modeling terminology and different 3D-modeling software. It includes the whole 3D-modeling process of the environment project. The thesis was also supplemented with structural calculations related to the lifting of the bird observation tower.

3D-modeling is becoming a significant tool in construction design. By making the thesis the knowledge of this kind of work improved well. The structural calculations were to verify, that the tower could bear loads caused by the lifting.

¹ Keywords: Three-dimensional imaging, virtual reality, bird observation tower

SISÄLTÖ

| | |
|--|----|
| Opinnäytetyön tiivistelmä | 2 |
| Thesis abstract | 3 |
| SISÄLTÖ | 4 |
| Kuva-, kuvio- ja taulukkoluetelo | 6 |
| Käytetyt termit ja lyhenteet..... | 8 |
| 1 JOHDANTO | 9 |
| 1.1 Työn tavoite..... | 9 |
| 1.2 Työn rakenne | 10 |
| 2 3D-MALLINNUS | 11 |
| 2.1 Yleistä 3D-mallinnuksesta | 11 |
| 2.1.1 Polygoniverkko..... | 12 |
| 2.1.2 Teksturointi | 12 |
| 2.2 Pistepilvi | 13 |
| 2.3 3D-ohjelmistot | 14 |
| 2.3.1 ArchiCAD | 14 |
| 2.3.2 Cloudcompare..... | 15 |
| 2.3.3 Unreal Engine | 15 |
| 2.3.4 Blender | 16 |
| 3 VIRTUAL REALITY | 18 |
| 3.1 VR:n historiaa..... | 18 |
| 3.2 VR työkaluna | 19 |
| 3.3 VR:n hyödyt ja haasteet käytännössä | 19 |
| 4 MAASTON JA OHEISRAKENNUKSIEN 3D-MALLINNUS..... | 20 |
| 4.1 Maastomallinnus | 20 |
| 4.2 ArchiCAD-mallinnus | 23 |
| 4.3 Ympäristön laadinta Unreal Engineessä | 26 |
| 4.4 Kokoonpanon tarkastelu virtuaalitodellisuudessa..... | 29 |
| 5 TORNIN NOSTOTYÖ..... | 30 |

| | | |
|-------|-----------------------------------|----|
| 5.1 | Nostokalusto ja kulkuväylät | 30 |
| 5.2 | Laskelmat | 31 |
| 5.2.1 | Kuormitustapaus 1 | 34 |
| 5.2.2 | Kuormitustapaus 2 | 34 |
| 5.3 | Noston vaiheet ja haasteet | 35 |
| 6 | YHTEENVETO JA POHDINTA..... | 38 |
| | LÄHTEET | 39 |
| | LIITTEET | 41 |

Kuva-, kuvio- ja taulukkoluetelo

| | |
|---|----|
| Kuva 1. Yleiskuva alueesta..... | 9 |
| Kuva 2. Nostokalustoa: vasemmalla 300tn nosturi ja oikealla 80tn nosturi..... | 30 |
| Kuva 4. Nostoketjujen kiinnitystä. | 35 |
| Kuva 5. Tornin noston vaiheet. | 36 |
| Kuva 6. Torni nostettuna paikoilleen. | 37 |
| | |
| Kuvio 1. Mäyräkallion Luontokeskuksen logo | 9 |
| Kuvio 2. Yleiskuva käsitteistä verteksit, reunat, polygonit ja pinnat. | 12 |
| Kuvio 3. Pistepilvimalli Mäyräkallion alueesta..... | 13 |
| Kuvio 4. ArchiCAD-malli varastorakennuksesta..... | 14 |
| Kuvio 5. Pistepilvestä polygoniverkoksi | 15 |
| Kuvio 6. Unreal Engine 4 UI..... | 16 |
| Kuvio 7. Yleiskuva Blenderin UI:sta | 17 |
| Kuvio 8. Oculus VR-prototyyppi. | 18 |
| Kuvio 9. Satelliittikuva mallinnettavasta maastosta..... | 20 |
| Kuvio 10. CSF-liitännäinen. | 21 |
| Kuvio 11. Pistepilvestä muodostettu mesh eli verkko. | 22 |
| Kuvio 12. Rajattu lopullinen alue..... | 22 |
| Kuvio 13. Rajattu alue, satelliittikuva taustalla referenssinä..... | 23 |
| Kuvio 14. 3D-malli hirsiladosta uudelleen teksturoituna..... | 24 |

| | |
|---|----|
| Kuvio 15. Renderoitu 3D-malli ulkokäymälästä..... | 24 |
| Kuvio 16. Renderoitu 3D-malli aitasta..... | 25 |
| Kuvio 17. Renderoitu 3D-malli kodasta..... | 25 |
| Kuvio 18. Renderoitu 3D-malli kaarisillasta..... | 26 |
| Kuvio 19. Maasto teksturoituna..... | 27 |
| Kuvio 20. Rakennelmat aseteltuina maastoon..... | 27 |
| Kuvio 21. Maasto kasvillisuuden lisäyksen jälkeen..... | 28 |
| Kuvio 22. Valaistuksen visualisointia..... | 28 |
| Kuvio 23. Valikko, josta VR Preview löytyy..... | 29 |
| Kuvio 24. Vuokaavio prosessikulusta..... | 29 |
| Kuvio 25. Havainnollistava kuva jatkoskohdan liitoksesta..... | 31 |
| Kuvio 26. Leikkauskuormitetun 1- ja 2-leikkeisen puristusliitoksen merkinnät..... | 32 |
| | |
| Taulukko 1. Suomessa käytettävät materiaalien osavarmuusluvut Y_M | 34 |
| Taulukko 2. Muunnoskerroimen k_{mod} arvot..... | 34 |

Käytetyt termit ja lyhenteet

| | |
|---------------------|--|
| UV mapping | UV mapping eli UV-kartoitus tarkoittaa kolmiulotteisen muodon pintojen levittämistä niin, että pinta voidaan esittää kaksiulotteisesti. Kirjaimet U ja V merkitsevät akseleita kaksiulotteisessa paikalliskoordinaatistossa. |
| Renderointi | Renderointi tai hahmonnus tarkoittaa tietokoneella luotua kuvaa, joka sisältää värit, valaistuksen ja heijastukset kolmiulotteisen vaikutelman aikaansaamiseksi. |
| 3D-mallinnus | 3D-mallinnus eli kolmiulotteinen mallinnus tarkoittaa tietokoneavusteista kolmiulotteista suunnittelua tietokoneen kuvaruudulla. |
| Teksturointi | Teksturoinnilla eli pintakuviointilla tarkoitetaan kaksiulotteisen kuvan asettamista 3D-mallin pinnalle. |
| Mesh | Kolmiulotteisessa grafiikassa oleva kappale, joka koostuu useista polygoneista. |
| VR | VR eli virtuaalitodellisuus tarkoittaa tietokonesimulaation tuottamien aistimusten avulla luotua keinotekoista ympäristöä. |
| Plugin | Plugin on tietokoneohjelman liitännäinen, joka asennetaan ohjelmistoon sen toimintakykyä parantamaan. |
| UI | UI tulee sanoista user interface eli käyttöliittymä. Käyttöliittymä luo osan siitä kokemuksesta, jonka käyttäjä saa palvelun tai tuotteen käytöstä. |

1 JOHDANTO

Alue, josta ympäristöä lähdettiin mallintamaan, sijoittuu Pirkanmaalle, Sastamalan Ekojärven kylälle (kuva 1). Työn tilaajana ja vastaavana työnjohtajana toimi alueen omistaja diplomi-insinööri Jorma Tuomisto.



Kuva 1. Yleiskuva alueesta.

Alue muodostaa isomman kokonaisuuden, jonka nimeksi on annettu Mäyräkallion luontokeskus. Sillä on kuvion 1 mukainen logo, joka on saanut aiheensa kallion kupeessa olleesta mäyrän pesästä.



Mäyräkallion
LUONTOKESKUS

Kuvio 1. Mäyräkallion Luontokeskuksen logo (Tuomisto, 2022).

Alueelle rakennettiin lintutorni. Se rakennettiin ensin vaakasuorassa asennossa, ja torni nostettiin kahden nosturin voimin kallion päälle oikealle paikalleen. Alueelle tulee myös useita muita rakennuksia ja rakennelmia, joita on myös mallinnettu tässä työssä.

1.1 Työn tavoite

Opinnäytetyön tavoitteena oli luoda mahdollisimman realistinen kolmiulotteinen lintutornin ympäristö, jota pystyttiin tarkastelemaan VR-laitteistolla. Ympäristöä täydennettiin

apurakennuksilla, kasvillisuudella sekä itse lintutornilla. Edellä mainittuja hyödynnettiin lähinnä asioiden visualisointiin. Lisäksi työssä laadittiin tornille nostosuunnitelma ja tehtiin nostoon liittyviä rakennetarkasteluja.

1.2 Työn rakenne

Työn alussa käydään läpi 3D-mallintamista ja sen termistöä sekä erilaisia mallinnusohjelmia. Sen jälkeen siirrytään VR-laitteiston käytön hyötyihin sekä haasteisiin.

Opinnäytetyön lopussa käsitellään itse ympäristön mallinnusprosessi ja varsinainen tornin nostotyö sekä siihen liittyvät suunnitelmat ja haasteet. Lopuksi on yhteenveto tuloksista ja 3D-mallintamisen onnistumisesta.

2 3D-MALLINNUS

3D-mallintaminen tarkoittaa tietokoneavusteista kolmiulotteista suunnittelua ja se on otettu käyttöön monella eri liiketoiminnan alalla (Huoneistostudio, 2019). Yleisimmin kolmiulotteisia malleja nähdään esimerkiksi talon, asunnon, komponentin, kulutustavaran tai peligrafiikan muodossa.

2.1 Yleistä 3D-mallinnuksesta

3D-mallinnuksen etuina ovat sen havainnollistavuus ja realismisuus, ja sen avulla saadaan monimuotoisetkin asiat selkeytettyä (Huoneistostudio, 2019). 3D-mallin tarkastelu tapahtuu vaivattomasti useita eri näkymiä ja kuvakulmia hyödyntämällä, ja tarvittaessa siihen saadaan sisällytettyä myös valonlähteitä, varjoja ja liikettä. 3D-mallien korjattavuus ja päivitettävyyys on varsin helppoa. Sen lisäksi sähköisessä muodossa ne ovat helposti säilytettävissä, jaettavissa ja käytettävissä kaikilla älylaitteilla.

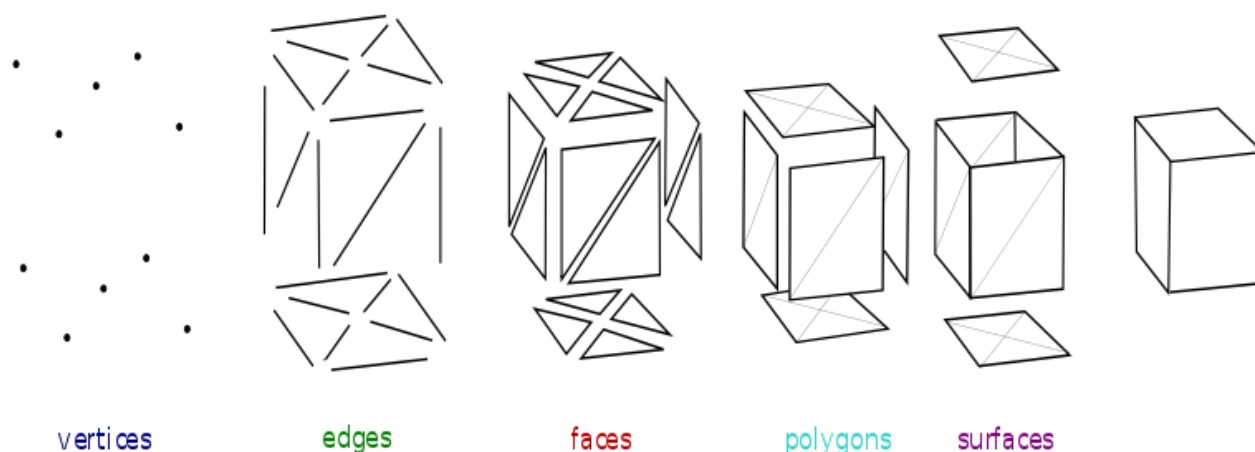
Kohteen hahmottelun lisäksi kolmiulotteisen mallin pohjalta valmistetaan usein myös lopputuotteita tai niiden prototyyppejä (Huoneistostudio, 2019). 3D-mallinnuksella pystytään tarkastelemaan ”valmista” tuotetta sekä löytämään mahdolliset muutostarpeet ja ongelmakohdat hyvissä ajoin ennen varsinaista tuotantoa. Tarkalla kolmiulotteisella mallinnuksella on valtava etu kaksiulotteiseen nähden erityisesti isoissa ja vaativissa rakentamisen ja tuotannon projekteissa, joissa toimivuus ja yhteensopivuus osien välillä on erityisen tärkeää.

Mitä pidemmälle mallinnukset viedään visuaalisesti, sitä suurempi on niistä saatava hyöty. Yksinkertaisimmillaan ne voivat olla niin sanottuja viivapiirroksia, mutta myös täysin fotorealistisia kuvia tehdään ja käytetään jo lähes kaikilla toimialoilla, jotta markkinointi voidaan aloittaa jo ennen tuotannon käynnistämistä. Laadukkaimmillaan kolmiulotteisesti luotu malli on erittäin todenmukainen, havainnollistava ja informatiivinen. Yhdestä mallinnuksesta saadaan tarvittaessa asianmukaisia versioita useisiinkin eri tarkoituksiin niin perspektiivi-, poikkileikkaus-, pohja-, detalji- kuin mittakuvien muodossa. (Huoneistostudio, 2019)

2.1.1 Polygoniverkko

3D-mallintamisessa polygon mesh eli polygoniverkko tarkoittaa koostetta useista polygoneista, jotka muodostuvat kuviossa 2 esitetyistä käsitteistä (Petty, i.a.).

Polygoniverkko määrittää jokaisen 3D-objektin tai hahmon muodon ja ääriviivat, mikäli sitä käytetään 3D-animaatioissa, mainoksissa tai videopeleissä.



Kuvio 2. Yleiskuva käsitteistä verteksit, reunat, polygonit ja pinnat (Rchoetzlein, 2009).

Suuret muodot koostuvat pienistä toisiinsa yhdistetyistä tasoista, yleensä kolmioista tai suorakulmioista, jotka muodostavat ikään kuin 3D-palapelin (Petty, i.a.). Polygoniverkon jokainen verteksi eli kärkipiste sisältää x-,y- ja z-koordinaatit. Lisäksi jokainen polygonin pinta sisältää tietoa renderointimoottorille siitä, kuinka muun muassa valo ja varjot muodostuvat. Polygoniverkkoa voidaan käyttää lähestulkoon minkä tahansa objektin mallintamiseen.

2.1.2 Teksturointi

Objektit, jotka on luotu 3D-mallinnusohjelmistolla, ovat yleensä väriltään mattaharmaita (Naghdi & Adib, i.a.). Teksturointi tarkoittaa käytännössä 2D-kuvan käärimistä 3D-objektin ympärille ja sen määrittämistä, miten kuva reagoi valon kanssa. Tekstuuri sisältää materiaalin, valoeffektit ja pinnan muotoon liittyviä yksityiskohtia. 3D-objektia teksturoitaessa tulee suorittaa objektin UV-kartoitus, jotta saadaan tieto siitä, miten 2D-kuva asettuu objektin pinnoille.

2.2 Pistepilvi

Pistepilvi koostuu miljoonista yksittäisistä pisteistä, jotka muodostavat kolmiulotteisen aineiston mistä tahansa kohteesta (Keitaanniemi, 2021). Se sisältää kohteen tarkan geometrian, parhaimmillaan millimetreissä (kuvio 3). Pisteisiin voi sisältyä 3D-sijainnin lisäksi tietoa väreistä tai kohteen materiaalista. Nämä tiedot riippuvat pistepilven tuottamistavasta. Pistepilviaineistoa voidaan tuottaa mm. fotogrammetrian tai laserkeilaimen avulla. Laserkeilain lähettää laserpulsseja, jotka kohteeseen osuttuaan heijastuvat takaisin laserkeilaimeen. Laserkeilain muodostaa pistepilven pisteen lähetetyn ja heijastuneen laserin erosta.



Kuvio 3. Pistepilvimalli Mäyräkallion alueesta.

Pistepilviaineiston tuottaminen aloitetaan aineiston keräämisellä laserkeilaimella (Keitaanniemi, 2021). Jotta saadaan muodostettua yhtenäinen pistepilvi, laserkeilainta siirrellään eri kohtiin, jossa se muodostaa miljoonia pisteitä sekunneissa. Seuraavaksi aineistot rekisteröidään yhdeksi pistepilveksi. Rekisteröinti toteutetaan joko siihen tarkoitettulla ohjelmistolla, tai nykyaikaisissa laserkeilaimissa rekisteröinti tapahtuu aineistokeräyksen yhteydessä. Lopuksi pistepilveä voidaan hyödyntää CAD-piirroksien ja 3D-mallien tuottamisessa.

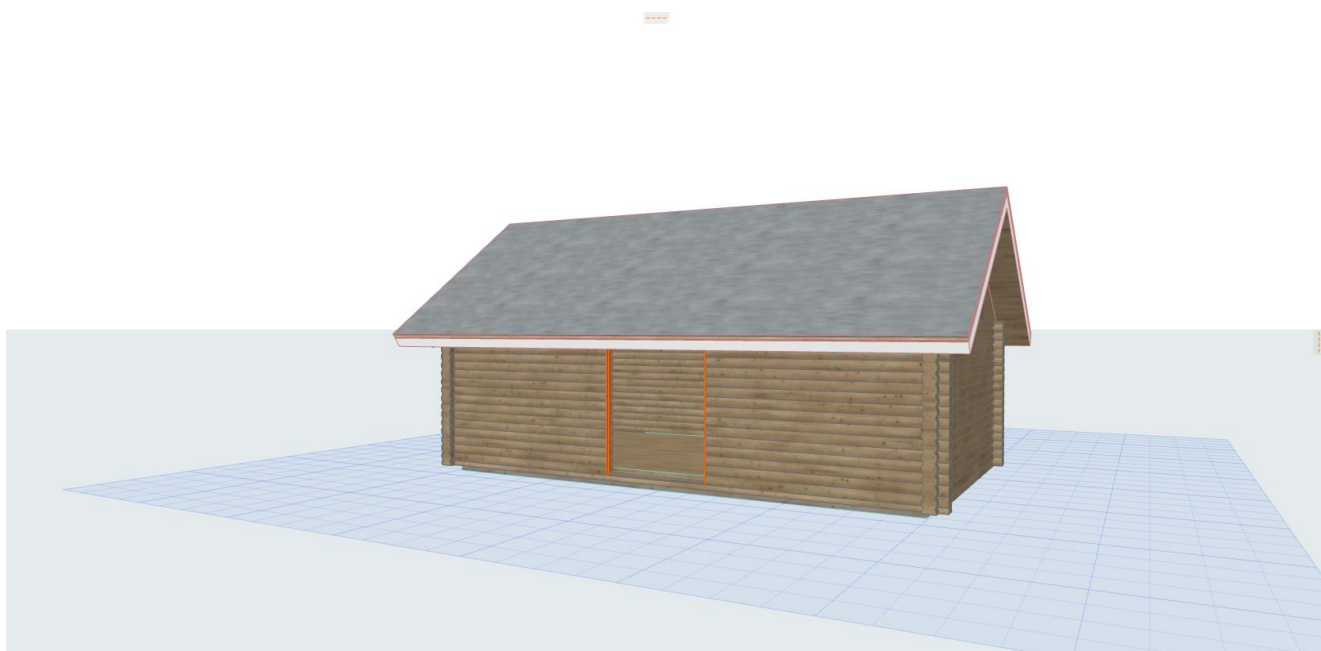
2.3 3D-ohjelmistot

3D-suunnitteluohjelmistoista löytyy laaja valikoima sekä ilmaisia että maksullisia vaihtoehtoja (Huoneistostudio, 2019). Kalleimmat ammattilaistason ohjelmistot liitännäisineen maksavat jopa satoja tuhansia euroja, mutta ilmaisversiot soveltuvat myös informatiivisen ja havainnollistavan materiaalin tuottamiseen.

Seuraavissa alaluvuissa käydään läpi projektissa käytettyjä ohjelmistoja lyhyesti.

2.3.1 ArchiCAD

ArchiCAD on suunniteltu rakennussuunnittelijoiden toimesta rakennussuunnittelijoille (Csikos, 2021). Ohjelmistolla luodaan kolmiulotteisia malleja rakennuksista (kuvio 4). Ohjelmiston perusta kattaa koko rakennussuunnittelun prosessin: 3D-mallin lisäksi ohjelmisto luo kaikki piirustukset. Ohjelmisto tarjoaa laajan valikoiman erilaisia työkaluja käyttäjälle. Lisäksi rakennuksen mallintaminen 3D-näkymästä onnistuu helposti.

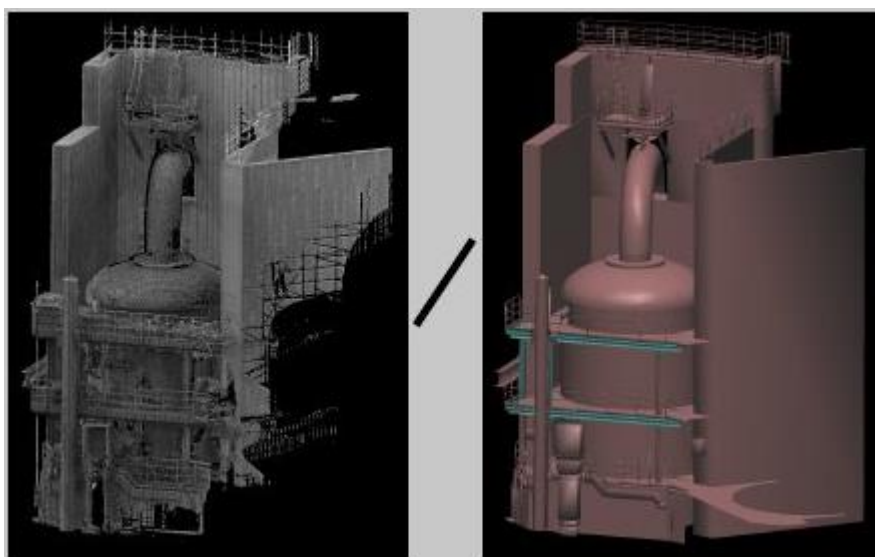


Kuvio 4. ArchiCAD-malli varastorakennuksesta.

ArchiCAD tukee Datasmith exporteria, jonka avulla 3D-malli voidaan siirtää suoraan Unreal Engineen (Graphisoft, i.a.). Tämä tiedostomuoto tuo kaiken tarvittavan tiedon ArchiCADista Unreal Engineen mukaan lukien metadatan, 3D-kamerat ja materiaalit.

2.3.2 Cloudcompare

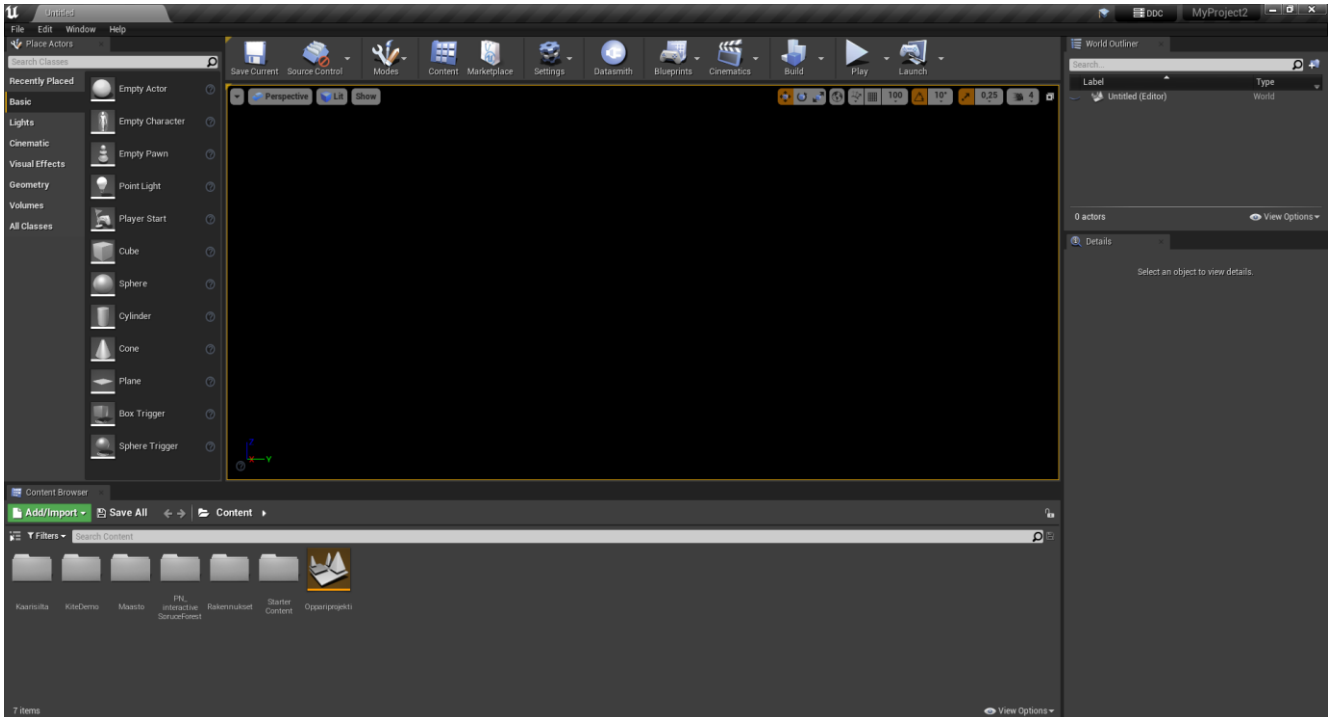
Cloudcompare on 3D-pistepilvien ja polygon meshien työstöön tarkoitettu ohjelmisto (Cloudcompare, i.a.). Pistepilviä, jotka on tuotettu laserkeilaimella, pystytään prosessoimaan eri algoritmien avulla. Ohjelma voi mm. luoda pistepilvestä polygoniverkon (kuvio 5), jota kyetään tarvittaessa muokkaamaan muilla 3D-mallinnukseen soveltuvilla ohjelmistoilla.



Kuvio 5. Pistepilvestä polygoniverkoksi (Cloudcompare, i.a.)

2.3.3 Unreal Engine

Unreal Engine on laajassa käytössä oleva pelimoottori, joka on luotu vuonna 1998 (Denham, i.a.). Sitä käytetään pelikehityksen lisäksi myös mm. simulaatioihin, arkkitehtuuriin, tuotesuunnitteluun ja autoteollisuuteen. User interface (UI) eli käyttöliittymä (kuvio 6) on Unreal Enginessä helppokäyttöinen ja selkeä. Unreal Engine tarjoaa erilaisia maisemointityökaluja, jotka nopeuttavat hankalankin maiseman luontia.

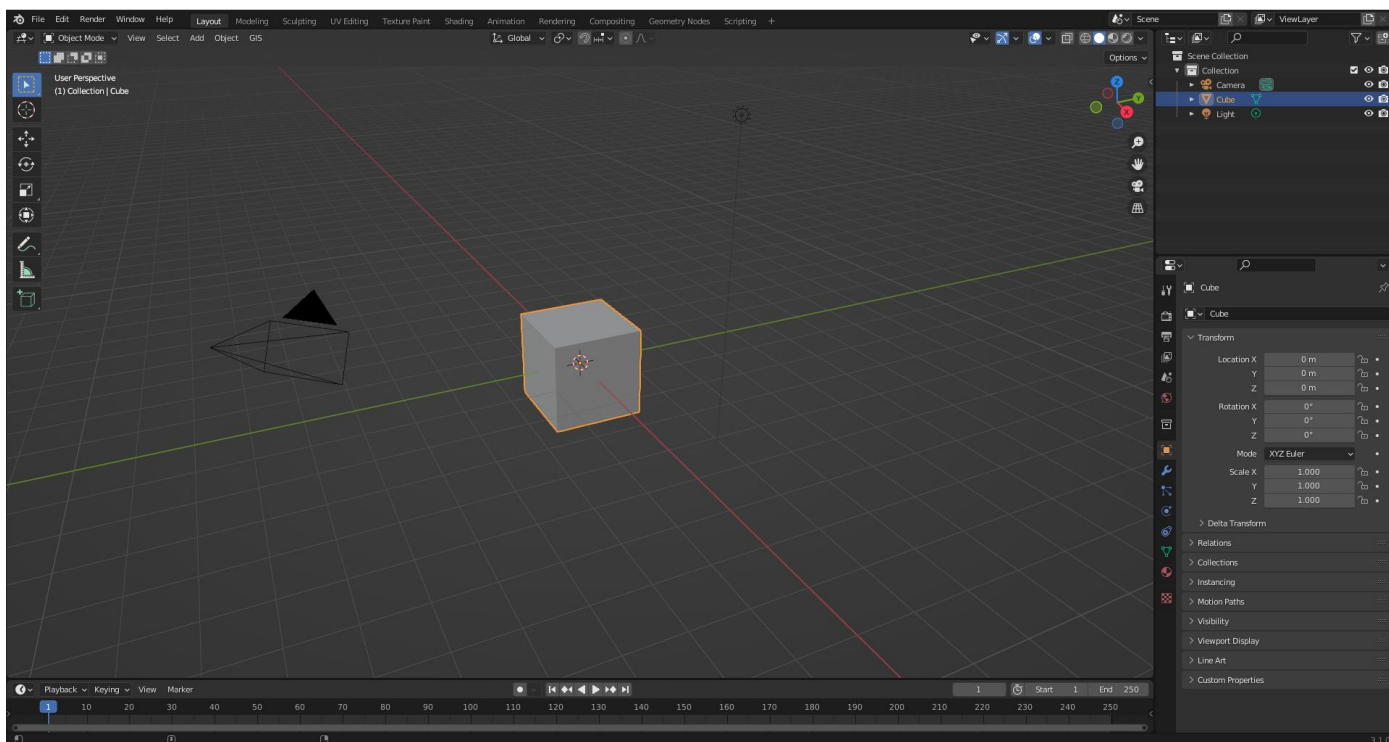


Kuvio 6. Unreal Engine 4 UI.

Unreal Engine on täysin ilmainen käyttää käyttäjistä riippumatta (Denham, i.a.). Siihen löytyy myös valtava määrä opetusvideoita ja dokumentaatiota sen pitkäaikaisen historian vuoksi.

2.3.4 Blender

Blender on ilmainen avoimen lähdekoodin 3D-mallinnusohjelmisto (Blender, i.a.). Blenderin UI (kuvio 7) on helppokäyttöinen ja selkeä. Ohjelmisto kattaa koko 3D-mallinnusprosessin — mallinnuksen, animoinnin, simuloinnin, renderöinnin ja jopa videoeditoinnin pelien kehitykseen. Blender soveltuu niin yksilötyöhön kuin yrityksille, jotka hyötyvät sen yhtenäisestä ja responsiivisesta prosessikulusta. Blender soveltuu muovaustyökalujensa puolesta myös maisemien luomiseen.



Kuvio 7. Yleiskuva Blenderin UI:sta.

3 VIRTUAL REALITY

(VR Workshop, 2021) VR eli virtuaalitodellisuus tarkoittaa teko- tai keinotodellisuutta, jossa tietokonesimulaation avulla luodaan virtuaalitodellisuuteen perustuva ympäristö tai kokemus.

3.1 VR:n historiaa

VR:n historia yltää vuoteen 1938 saakka, kun ranskalainen teatterin uudistaja ja kirjailija Anton Artaud käytti virtuaalitodellisuutta teatterin vaikutuskeinojen kuvantamiseen (VR Workshop, 2021). Vaikka virtuaalitodellisuutta on tutkittu pitkään, varsinainen läpimurto koettiin, kun globaalit toimijat alkoivat sijoittaa siihen 2000-luvulla.

Vuonna 2007 Google Street View tarjosi ensimmäistä kertaa mahdollisuuden tutkia maailman eri paikkoja karttapalvelun avulla (Tuominen, 2021). Katutasossa otetut 360-kuvat mahdollistivat ennalta tutustumisen matkakohteisiin. Kehityksen kulkiessa eteenpäin Street View toteutettiin 3D-kuvilla vuonna 2010, ja samana vuonna Oculus VR-lasit kehitettiin prototyyppiä (kuvio 8). Kaksi vuotta Oculus VR-lasien julkaisusta alkoi merkittävä kilpailu VR-laitteiden kehityksestä.



Kuvio 8. Oculus VR-prototyyppi (Rubin, P. 7.1.2014)

3.2 VR työkaluna

Virtuaalitodellisuuden avulla voidaan visualisoida esim. kuvitteellista ympäristöä tai vaikkapa todellista tilaa tai ympäristöä (VR Workshop, 2021). Nykyään myös tavallinen älylaitteen käyttäjä voi helposti tutustua virtuaalitodellisuuden tuomiin mahdollisuuksiin. Virtuaalitodellisuuteen pohjautuvat lasit luovat niin sanotun virtuaalisen näkökentän, jota käyttäjä hyödyntää.

Runsaasti erilaisia mahdollisuuksia tarjoava virtuaalitodellisuus pystyy ikään kuin "huijaamaan" ihmisen aivoja. Pohjimmiltaan virtuaalitodellisuus on yksinkertaista tekniikkaa, jossa ihmisen molemmilla silmillä on käytössään oma näyttö, jonka avulla saadaan lisää syvyyttä ja lähes täydellinen 3D-maailma. (VR Workshop, 2021)

3.3 VR:n hyödyt ja haasteet käytännössä

Virtuaalitodellisuutta hyödynnetään nykyään myös tietokonepeleissä, elokuvien teossa, rakennusosalalla ja menestyksekkäästi jopa terveydenhuollossa (VR Workshop, 2021). Lentokonesimulaattorin avulla voidaan tutustua esimerkiksi koneen toimintaan, simuloida lentämistä tai harjoitella tärkeää pelastustoimintaa mahdollisissa onnettomuustilanteissa.

Rakennusalan messuilla on esitelty mm. MR-laseja (MR eli mixed reality) (Siitonen, i.a.). Lasien avulla luodaan käyttäjälle sekoitettu todellisuus, joka tarkoittaa käytännössä todellisuuden ja virtuaalitodellisuuden yhdistelmää. Lasien läpi katsottuna tilaan voidaan heijastaa erilaisia objekteja ja asioita virtuaalitodellisuuden avulla.

Siitosen (i.a.) mukaan heti kun MR-laitteiden lastentaudit saadaan poistettua ja rakennusten tietomallit suunnittelusta ylläpitoon pidettyä ajan tasalla, aukeaa mahdollisuus sekoitetun todellisuuden hyödyntämiselle kiinteistön ylläpidossa ja huollossa.

4 MAASTON JA OHEISRAKENNUKSIEN 3D-MALLINNUS

Tämä projekti toteutettiin kokonaan käyttäen ilmaisilisenssejä ohjelmistoista sekä tekstuureja ja ilmaismalleja kasvillisuudesta. Mallinnettava alue sijoittui Pirkanmaalle, Sastamalan Ekojärven kylälle (kuvio 9). Alue koostui lähinnä havumetsistä ja pelloista.



Kuvio 9. Satelliittikuva mallinnettavasta maastosta (Google Maps, i.a.).

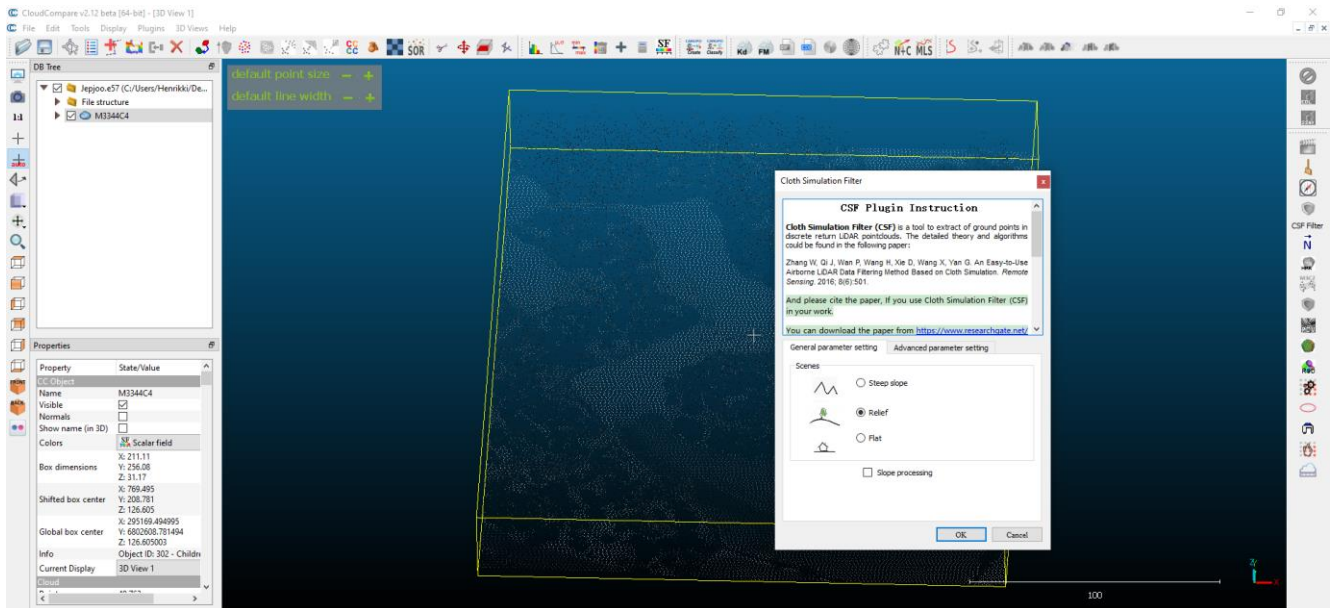
4.1 Maastomallinnus

Projekti aloitettiin keräämällä aineistoa varsinaisesta ympäristöstä, josta maastomalli luotiin. Aineistona oli 360-kuvia, tavallisia valokuvia ja videomateriaalia ympäristöstä. Lisäksi Maanmittauslaitokselta saatiin ilmainen aineisto, mm. satelliittikuvat ja korkeusmalli kyseisestä alueesta.

Korkeusmalli on numeerinen esitys maanpinnan muodoista. Se myös mahdollistaa maanpinnan muotojen visualisoinnin. Korkeusmalli kuvaa maanpinnan korkeutta suhteessa merenpinnan tasoon. Korkeusmallia ajantasaistetaan uusimman, laserkeilauksesta saadun tiedon perusteella, jos maanpinta on muuttunut merkittävästi. Muutoksia tehdään tavallisesti rakentamisen vuoksi, esimerkiksi uusien teiden valmistuessa. (Maanmittauslaitos, i.a.)

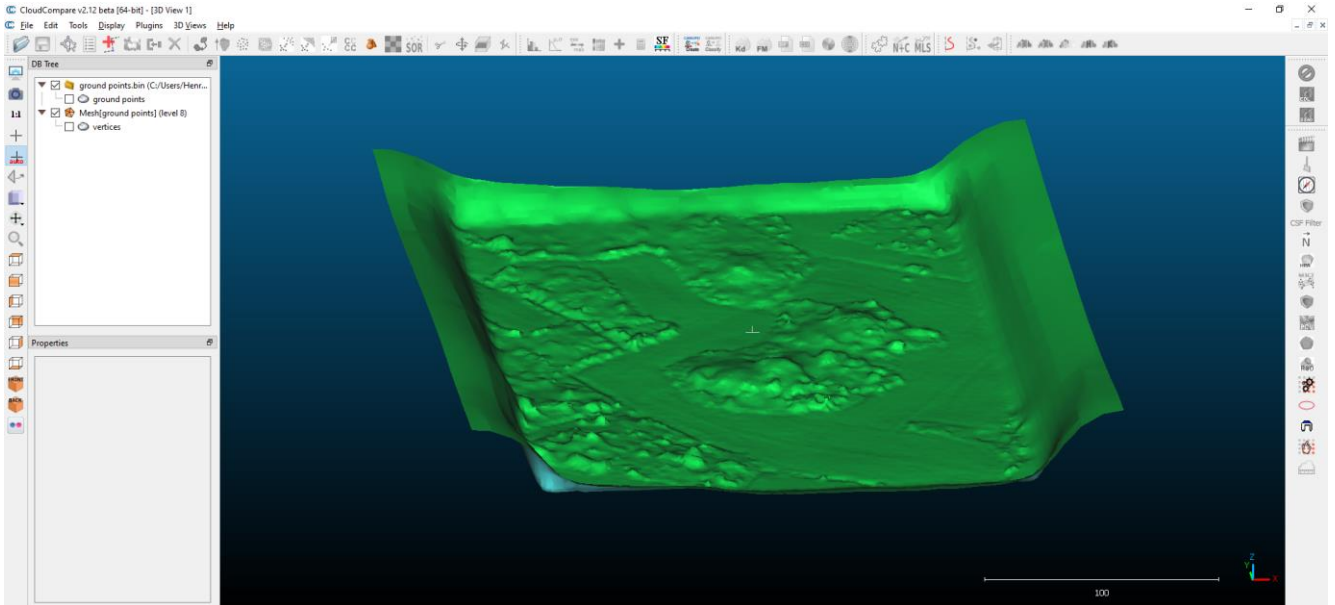
Kun tarvittavat aineistot oli kerätty, voitiin aloittaa maaston 3D-mallinnus. Mallinnus aloitettiin rajaamalla pistepilviaineistoa ohjelmistolla nimeltä Autodesk Recap. Alue rajattiin noin 100 m x 100 m alueeseen. Rajauksen jälkeen tiedosto vietiin sellaiseen tiedostomuotoon, joka soveltuu Cloudcompare-ohjelmiston luettavaksi.

Kun tiedostoa päästiin esikatselemaan Cloudcomparella huomattiin, että osa pisteistä oli paljon maanpinnan yläpuolella. Tämä johtui alueella olevista puista, joiden korkeus oli myös heijastunut laserkeilausaineistoon. Näiden ylimääräisten pisteiden poistoon ohjelmistosta löytyi hyödyllinen plugin eli liitännäinen nimeltä CSF (Cloth Simulation Filter) (kuvio 10). Tämä plugin toimi siten, että se poisti maanpinnasta eroavat pisteet jättäen ainoastaan maanpintaan kuuluvat pisteet.



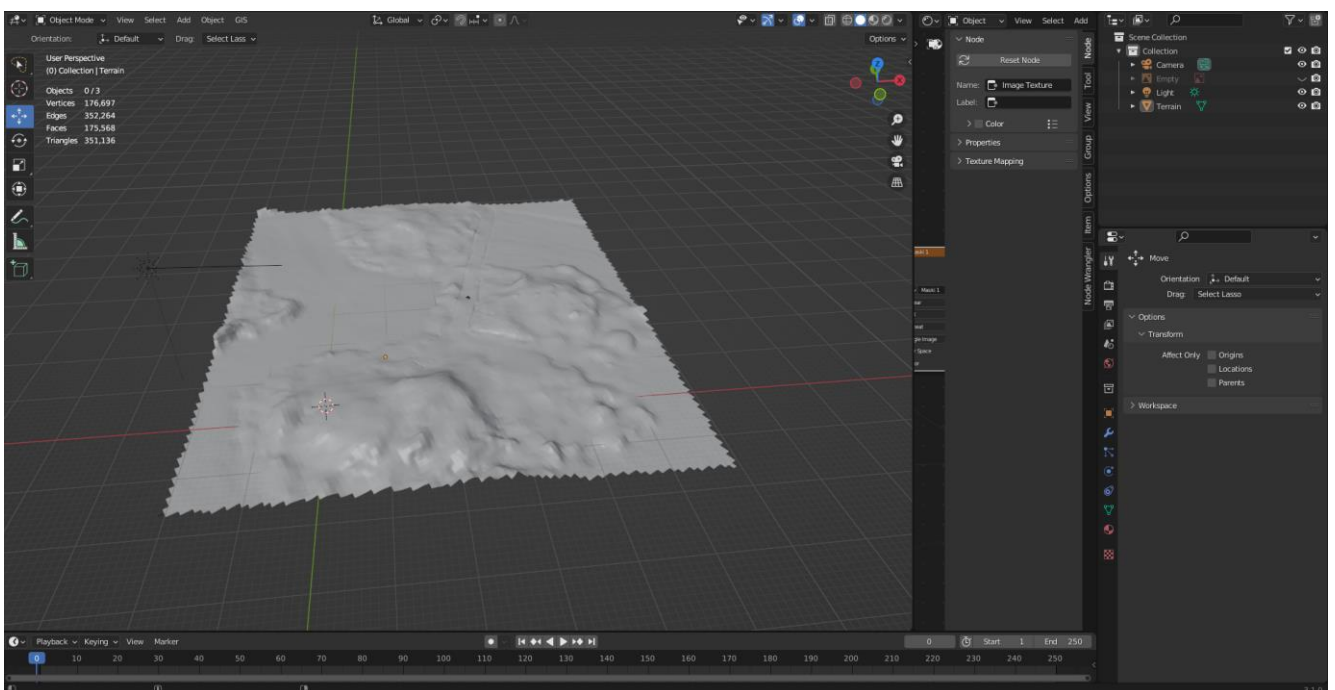
Kuvio 10. CSF-liitännäinen.

CSF-filteröinnin jälkeen otettiin käyttöön ohjelmiston toinen liitännäinen nimeltä Poisson Surface Reconstruction. PoissonReconin avulla saatiin luotua pistepilvestä yhtenäinen polygon meshi (kuvio 11).

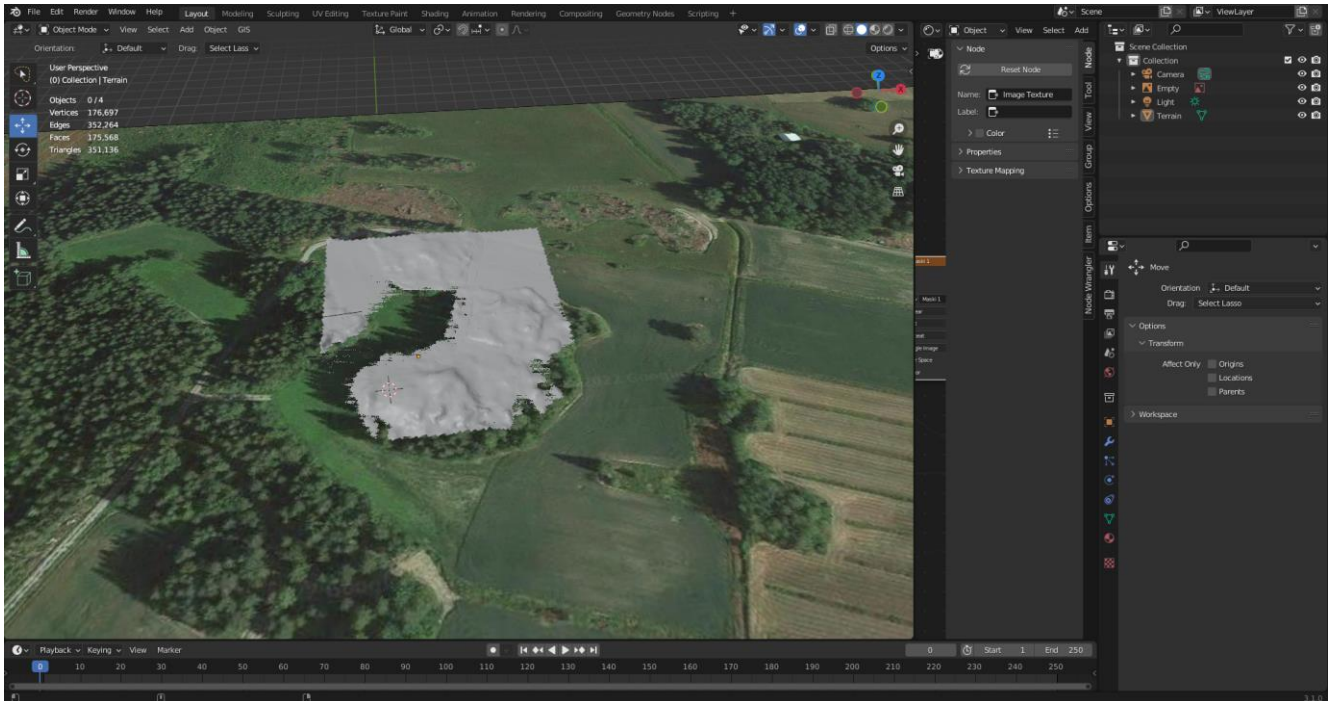


Kuvio 11. Pistepilvestä muodostettu mesh eli verkko.

Kun mesh-verkko oli saatu luotua, voitiin tiedosto viedä FBX-tiedostomuodossa Blenderiin, jossa meshiä pystyttiin muokkaamaan edelleen. Blenderissä muokkaus aloitettiin rajaamalla (kuvio 11) näkyvät reunat pois maastosta (kuvio 12). Meshin taustalle ladattiin satelliittikuva, jotta alue saatiin skaalattua realistiseen kokoonsa (kuvio 13).



Kuvio 12. Rajattu lopullinen alue.



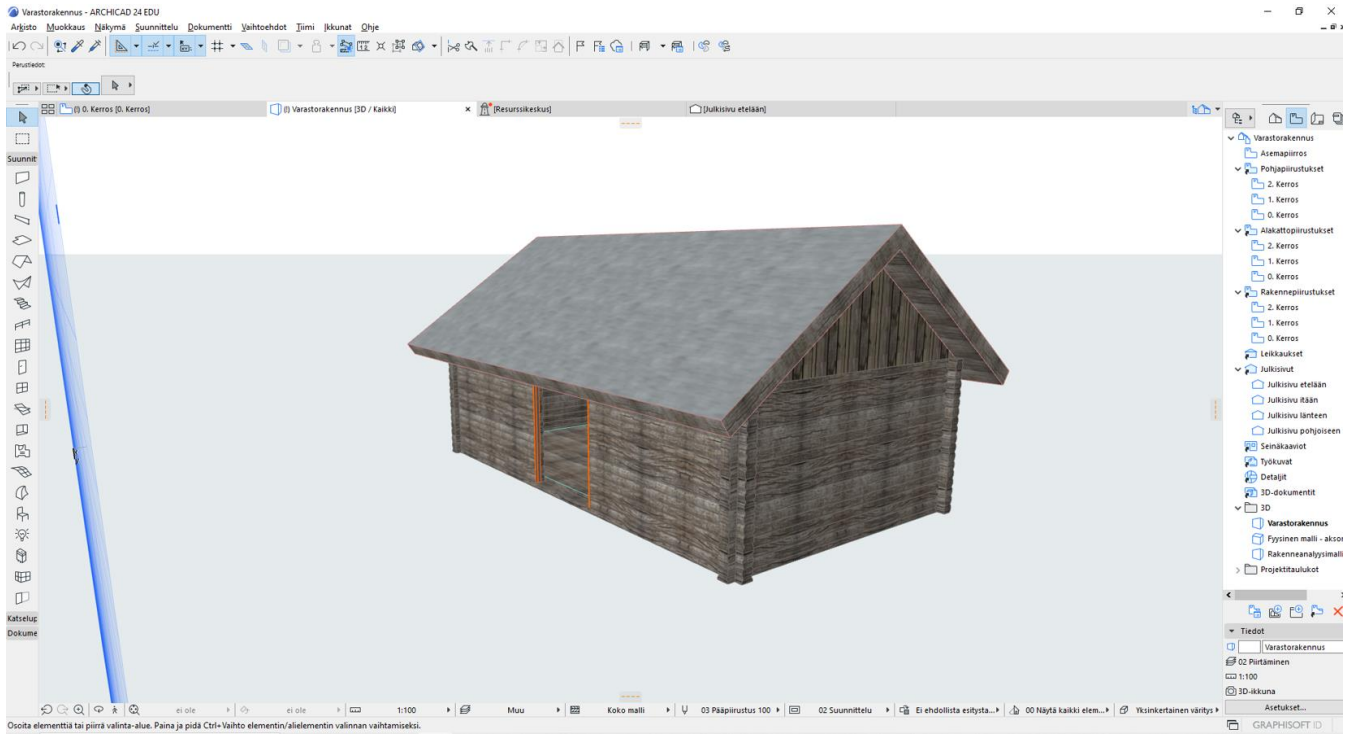
Kuvio 13. Rajattu alue, satelliittikuva taustalla referenssinä.

Alueen rajaamisen jälkeen voitiin aloittaa teksturointi. Teksturointiä koitettiin Blenderissä, mutta projektin edetessä todettiin, että tekstuureja ei onnistuttu viemään Unreal Engineen, joten teksturointi päätettiin toteuttaa Unreal Engineessä. Tässä vaiheessa Blenderissä rajattu maastomalli vietiin FBX-tiedostomuodossa Unreal Engineen jatkotoimenpiteitä varten.

4.2 ArchiCAD-mallinnus

ArchiCADia käytettiin tämän projektin oheisrakennelmien mallintamiseen. Mallinnettuja rakennelmia olivat mm. varistorakennus (kuvio 4), ulkokäymälä (kuvio 15), aitta (kuvio 16), kota (kuvio 17) ja kaarisilta (kuvio 18). ArchiCADilla pystyttiin luomaan 3D-mallit tarvittavista rakennelmista vaivattomasti. Ohjelmistoa käytettäessä hyödynnettiin tyypillisiä seinä-, palkki-, pilari-, katto-, aita- ja ikkunatyökaluja, jotka löytyvät ArchiCADin ohjelmistonäkymän vasemmasta reunasta (kuvio 14).

ArchiCADissa on myös valmiina tekstuureja eri materiaaleille, kuten puulle, metallille tai vaikkapa kivelle. Tekstuurivalikoima jäi kuitenkin liian suppeaksi, joten tekstuureja jouduttiin lataamaan lisää mm. vanhan puun visualisointiin (kuvio 14).



Kuvio 14. 3D-malli hirsiladosta uudelleen teksturoituna.



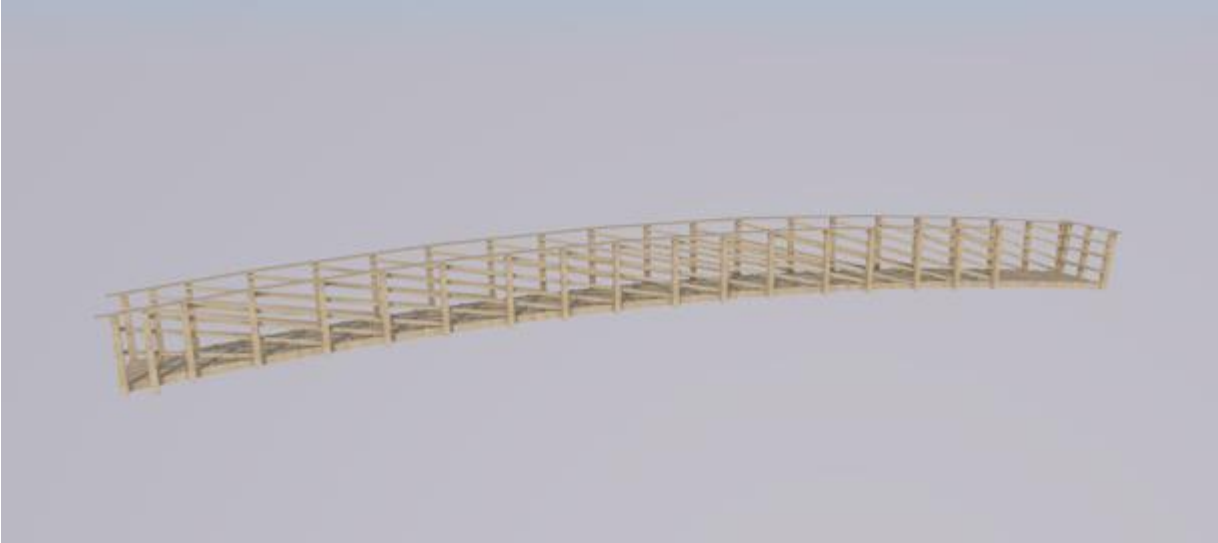
Kuvio 15. Renderoitu 3D-malli ulkokäymälästä.



Kuvio 16. Renderoitu 3D-malli aitasta.



Kuvio 17. Renderoitu 3D-malli kodasta.

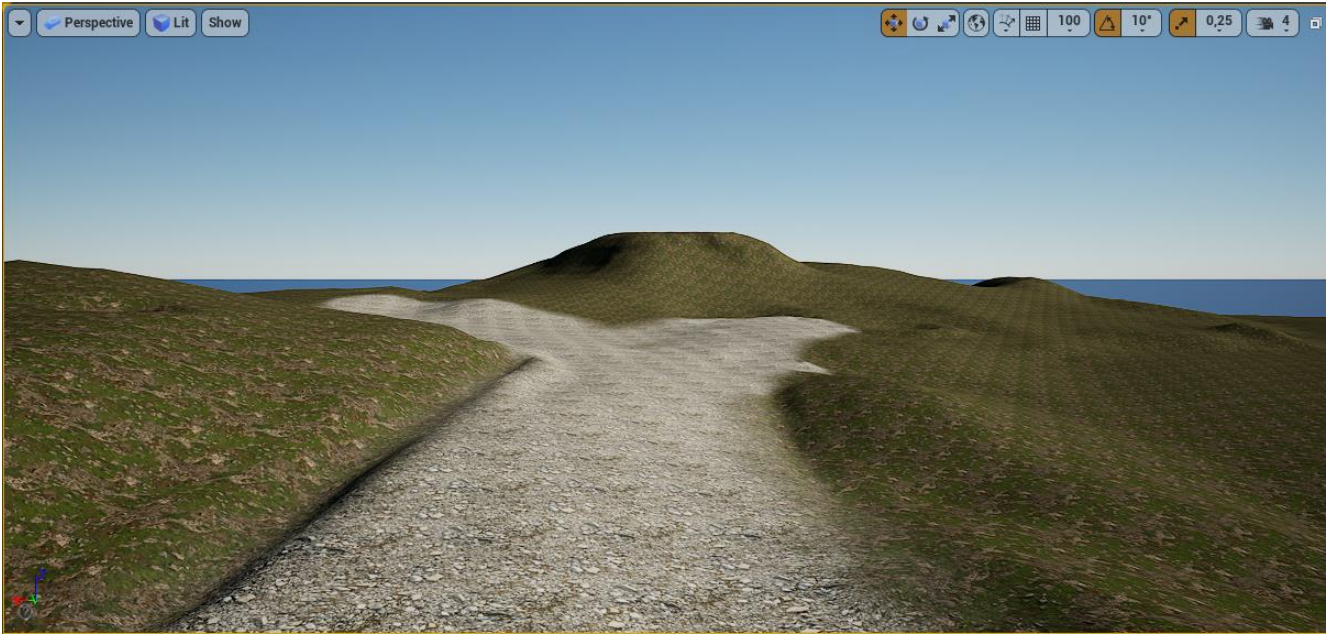


Kuvio 18. Renderoitu 3D-malli kaarisillasta.

ArchiCADilla tehdyt 3D-mallit muutettiin Datasmith-tiedostomuotoon Datasmith exporterin avulla, jotta mallit saatiin vietyä Unreal Engineen mm. tekstuurien sekä kaiken muun tarvittavan tiedon kanssa.

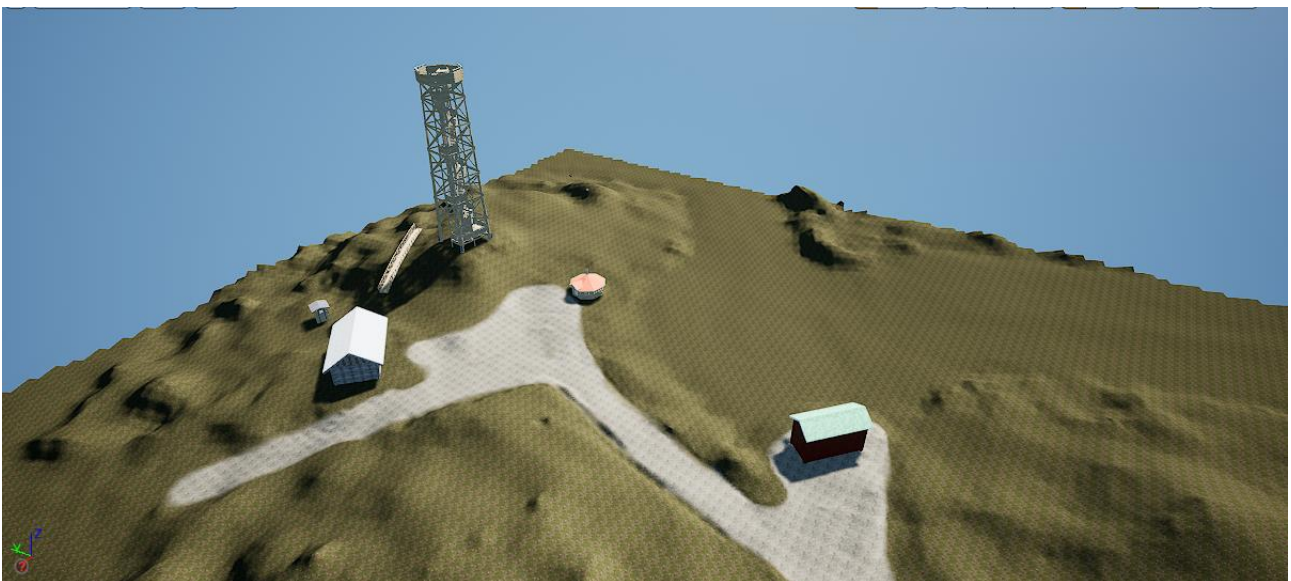
4.3 Ympäristön laadinta Unreal Engineessä

Varsinainen 3D-ympäristön laadinta toteutettiin Unreal Engine 4 -ohjelmistolla. Aluksi ohjelmistoon tuotiin 3D-mallinnettu maasto ja aloitettiin sen teksturoinnilla. Teksturointi toteutettiin Unreal Enginen mesh paint -työkalulla hyödyntäen kahta eri tekstuuria, soraa ja metsämaaperää (kuvio 19).



Kuvio 19. Maasto teksturoituna.

Teksturoinnin jälkeen voitiin aloittaa ArchiCADilla mallinnettujen rakennelmien asettelu paikoilleen (kuvio 20). Asettelu suoritettiin kuvien sekä oman tiedon pohjalta. Rakennelmia aseteltaessa huomattiin, että skaalaus ei täsmännyt ArchiCADin mallien ja maastomallin kesken. Maastoa skaalattiin 1,5 kertaa suuremmaksi, jotta mittasuhteet saatiin täsmäämään. Skaalauksen referenssinä käytettiin Unreal Enginestä löytyvää kuutiota, jonka mitat olivat 1 m x 1 m x 1 m.



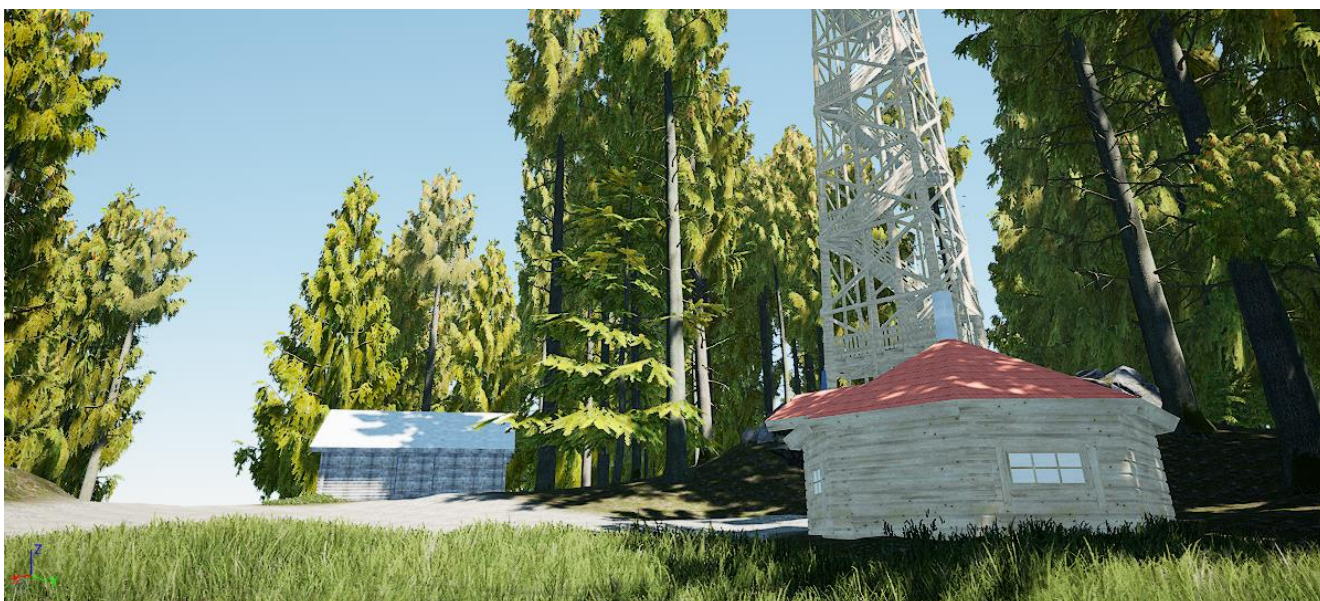
Kuvio 20. Rakennelmat aseteltuina maastoon.

Kun rakennelmat olivat paikoillaan, voitiin aloittaa puuston ja kasvillisuuden lisääminen. Tämä vaihe toteutettiin ohjelmistosta löytyvällä foliage-työkalulla (kuvio 21). Foliage-työkalu mahdollisti erilaisten puiden yms. lisäämisen helposti maastoon joko maalaamalla tai yksittäin asettelemalla.



Kuvio 21. Maasto kasvillisuuden lisäyksen jälkeen.

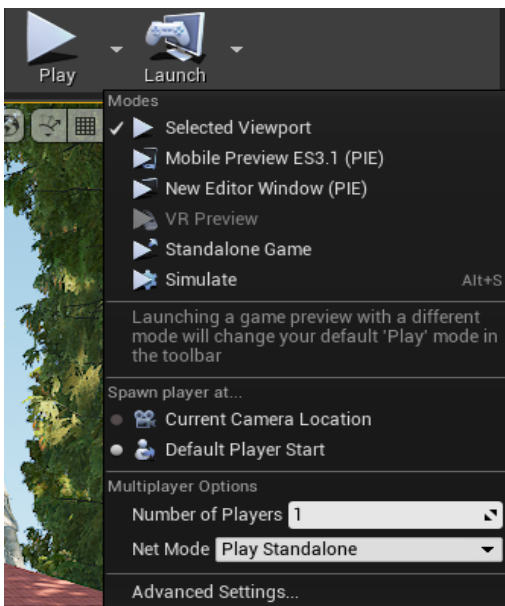
Unreal Engineissä valaistuksen luominen onnistui helposti valmiin SunSky-elementin avulla. Aluksi valaistus oli liian kirkas, mutta pienen hienosäädön avulla saatiin aikaiseksi kohtuulliselta näyttävä valaistus (kuvio 22).



Kuvio 22. Valaistuksen visualisointia.

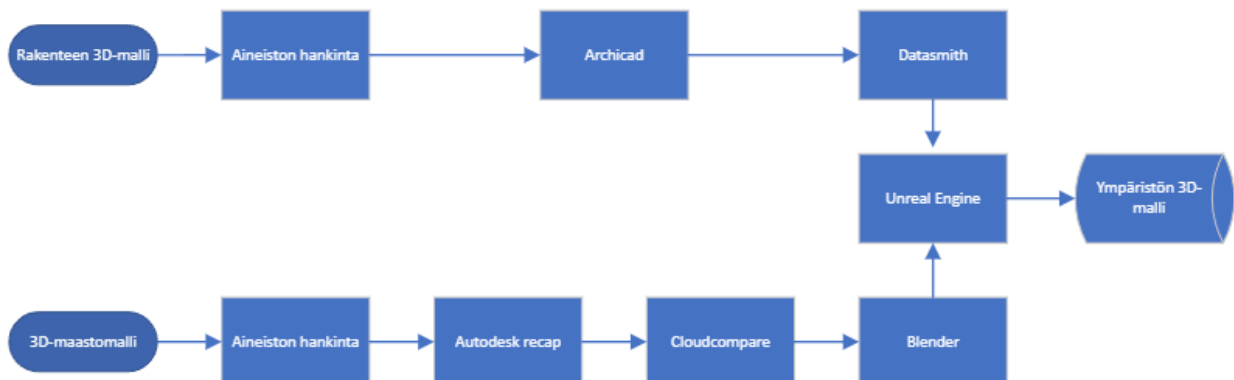
4.4 Kokoonpanon tarkastelu virtuaalitodellisuudessa

Projektin loppuksi ympäristöä tarkasteltiin VR-laseilla Unreal Enginen VR Preview -asetusta hyödyntäen (kuvio 23). VR-laseina toimivat Valve Index -merkkiset lasit. VR-toiminnon alustamiseen käytettiin Unreal Enginen sivuilta löytyviä ohjeita. Liikkuminen tapahtui näppäimistön avulla lentäen, koska ei koettu tarpeelliseksi lisätä VR-liikeohjaimia liikkumista varten.



Kuvio 23. Valikko, josta VR Preview löytyy.

Loppujen loppuksi VR-tarkastelun toteuttaminen onnistui vaivattomasti, ja ympäristöä päästiin tarkastelemaan omin silmin VR-lasien avulla. Seuraavassa kaaviossa esitetään vielä projektin kulku yksinkertaistettuna (kuvio 24).



Kuvio 24. Vuokaavio prosessikulusta.

5 TORNIN NOSTOTYÖ

Koska kyseessä oli oikeasti rakennettava projekti, saatiin todellisestakin tilanteesta kokemuksia virtuaalisen mallinnuksen lisäksi. Työtä täydennettiin lintutornin nostotyön suunnittelutarkasteluilla.

5.1 Nostokalusto ja kulkuväylät

Kyseessä oli ylätasanteen lattiatasosta mitattuna n. 25 m korkea lintutorni, joka oli vaakasuoraan maassa rakennettu. Torni rakennettiin painekyllästetystä puusta, ja tornin arvioitu paino oli 18 tn. Erikoisnoston johdosta tämän lintutornin nostoon varattiin yksi 300 tn autonosturi (kuva 2) ja yksi pienempi, 80 tn nosturi. 300 tn nosturin käyttö edellytti muutakin kalustoa. Kuorma-autoilla toimitettiin nosturin vastapainot, jotka sitten nostettiin pienemmällä nosturilla paikoilleen.



Kuva 2. Nostokalustoa: vasemmalla 300tn nosturi ja oikealla 80tn nosturi.

Kaluston suuren painon vuoksi edellytettiin hyväkuntoisia kulkureittejä ja riittävästi tilaa tornin ympäristöön. Työ tehtiin talvella, joten tiepohjan jäätyminen vahvisti tien

kantavuutta. Useimmat suuret nosturit tarvitsevat vähintään kolme metriä leveyttä tielle, jotta ne pääsevät kääntymään mutkissa.

5.2 Laskelmat

Tässä laskelmassa tarkasteltiin lintutornin pääpilarien jatkoskohtien pulttiliitoksen mitoituskestävyyttä syysuunnassa (kuvio 25).



Kuvio 25. Havainnollistava kuva jatkoskohdan liitoksesta.

Ensin lasketaan reunapuristuslujuus syysuuntaan nähden seuraavalla kaavalla (Puuinfo, 2020, s.37):

$$f_{h,1,k} = 0,082 \cdot (1 - 0,01 \cdot d) \cdot \rho_k = 0,082 * (1 - 0,01 * 20) * 320 = 21,0 \frac{N}{mm^2} \quad (1)$$

missä

ρ_k = ominaistiheys [kg/m^3]

d = pultin paksuus [mm]

Tässä tapauksessa voitiin todeta, että $f_{h,1,k} = f_h$, koska

$$f_h = \min(f_{h,1,k}; f_{h,2,k}; f_{h,s,k}), \quad (2)$$

missä

$f_{h,1,k}$ ja $f_{h,2,k}$ ovat liitoksen reunaosien reunapuristuslujuuksien ominaisarvoja

$f_{h,s,k}$ kaksileikkeisen liitoksen keskiosan ominaispuristuslujuus

Tässä tapauksessa $f_{h,1,k} = f_{h,2,k}$, koska kappaleet ovat yhtä paksuja ja $f_{h,s,k}$ ei esiinny tässä liitoksessa.

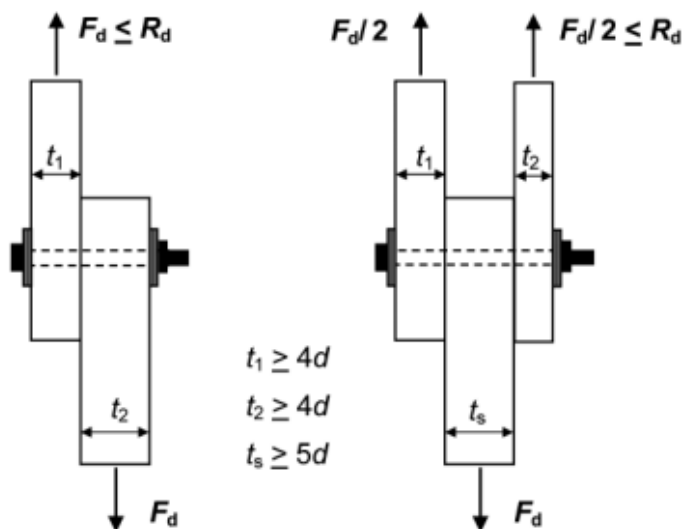
Reunojen puristuslujuuden kerroin t_u saadan kaavalla (Puuinfo, 2020, s.37)

$$t_u = \frac{t_1 \cdot f_{h,1,k}}{f_h} = \frac{125 \cdot 21,0}{21,0} = 125 \quad (3)$$

missä

t_1 ja t_2 ovat (kuvio 26) esitetyt puun paksuudet

Tässä kaavassa voidaan jättää toinen puoli huomioimatta, koska puut olivat saman paksuisia. $f_{h,1,k}$ ja f_h ovat aiemmin mainittuja termejä.



Kuvio 26. Leikkauskuormitetun 1- ja 2-leikkeisen puristusliitoksen merkinnät (Puuinfo, 2020).

Pultin myötömomenti lasketaan kaavalla (Puuinfo, 2020, s.37)

$$M_y = 0,3 \cdot f_{u,k} \cdot d^{2,6} = 0,3 \cdot 800 \cdot 20^{2,6} = 574281 \text{ Nmm} \quad (4)$$

missä

$f_{u,k}$ = pultin vetomurtolujuuden ominaisarvo, tässä 800 N/mm²

Puuosien välisen pulttiliitoksen leikkauskestävyyden ominaisarvo yhtä leikettä kohden lasketaan kaavalla (Puuinfo, 2020, s.37)

$$R_k = \min \left\{ \begin{array}{l} 0,4 \cdot f_h \cdot t_u \cdot d \cdot \sqrt{1 + \frac{3 \cdot M_y}{f_h \cdot d \cdot t_u^2}}, \\ 2 \cdot \sqrt{M_y \cdot f_h \cdot d} \end{array} \right. \quad (5)$$

missä

f_h ja t_u ovat liitoksen reunojen puristuslujuudet huomioivat kertoimet.

d = pultin halkaisija [mm]

M_y = Pultin myötömomentti [Nmm]

$$R_k = \min \left\{ \begin{array}{l} 0,4 \cdot 21,0 \cdot 125 \cdot 20 \cdot \sqrt{1 + \frac{3 \cdot 574281}{21,0 \cdot 20 \cdot 125^2}} = 23609N \\ 2 \cdot \sqrt{574281 \cdot 21,0 \cdot 20} = 31190N \end{array} \right. \quad (6)$$

Valitaan $R_k=23,6$ KN mitoittavaksi voimaksi.

Liitoksen mitoituskestävyys lasketaan kaavalla (Puuinfo, 2020, s.28)

$$R_d = \frac{k_{mod}}{\gamma_M} \cdot R_k \quad (7)$$

missä

γ_M = taulukon 1 mukainen liitoksen materiaaliosavarmuusluku.

k_{mod} = taulukon 2 mukainen liitoksen aikavaikutuskerroin.

R_k = Leikkauskestävyyden ominaisarvo [N]

$$R_d = \frac{0,9}{1,3} \cdot 23609 = 16340N/kpl \quad (8)$$

Täten voitiin todeta, että liitos kestää vetoa $16340 \text{ N/kpl} \cdot 3 \text{ kpl} = 49022 \text{ N} \approx 49 \text{ KN}$

Taulukko 1. Suomessa käytettävät materiaalien osavarmuusluvut Y_M (Puuinfo, 2020).

| Perusyhdistelmät: | |
|--|------------|
| Sahatavara ja pyöreä puutavara yleensä | 1,3 |
| Liimapuu, CLT | 1,25 |
| LVL, vaneri, OSB-levy | 1,2 |
| Muu lastulevy, kuitulevyt | 1,3 |
| Liitokset | 1,3 |
| Onnettomuusyhdistelmät | 1,0 |

Taulukko 2. Muunnoskertoimen k_{mod} arvot (Puuinfo, 2020).

| Materiaali | Käyttöluokka | Kuorman aikaluokka | | |
|--|--------------|--------------------|------------|-------------|
| | | Pysyvä | Keskipitkä | Hetkellinen |
| Sahatavara, Pyöreä puutavara, Liimapuu, LVL, Vaneri, CLT | 1 | 0,60 | 0,80 | 1,10 |
| | 2 | 0,60 | 0,80 | 1,10 |
| | 3 | 0,50 | 0,65 | 0,90 |
| Lastulevy P4 ³⁾ , OSB/2 ³⁾ , Kova kuitulevy | 1 | 0,30 | 0,65 | 1,10 |
| | 2 | 0,20 | 0,45 | 0,80 |
| Lastulevy P6 ³⁾ , OSB/3 ja OSB/4 | 1 | 0,40 | 0,70 | 1,10 |
| | 2 | 0,30 | 0,55 | 0,90 |
| Puolikovat kuitulevyt: MBH.LA ³⁾ , MBH.HLS, MDF.LA ³⁾ ja MDF.HLS | 1 | 0,20 | 0,60 | 1,10 |
| | 2 | - | - | 0,80 |

5.2.1 Kuormitustapaus 1

Ensimmäisessä kuormitustapauksessa tarkasteltiin tilannetta, jossa torni oli nostettuna pystyasentoon roikkumaan. Tällöin pilarien liitoskohtiin syntyi arviolta 100 KN kuorma jaettuna viidelle pilarille. Joten kuorma olisi 20 KN / pilari. Yksi liitos kestää aiemmin mitoitettun 49 KN vetovoiman, joten voitiin todeta, että liitos kestää kyseisen kuormitustilanteen.

5.2.2 Kuormitustapaus 2

Toisessa kuormitustapauksessa tarkasteltiin tilannetta, jossa torni nostettiin vaakasuorassa asennossa (liite 1). Tarkastelu toteutettiin Robot Structural Analysis -ohjelmiston avulla. Yhden tasoristikon painona käytettiin arvoa 75 KN (=150 KN/2), joka jaettiin pituuksien suhteessa. Tarkastelulla saatiin selville sauvojen 3 ja 4 liitoskohdan

vetovoima 24,27 KN. Kyseinen liitos kestää 49 KN vetovoiman, joten voitiin todeta, että liitos kestää kyseisen kuormitustilanteen.

5.3 Noston vaiheet ja haasteet

Tornin ollessa rakenteellisesti valmiina nostoon voitiin aloittaa nostotyö. Tornin suuri koko vaikutti suoraan nosturien kokoon. Taivutusjännevälin pienentämiseksi oli oleellista nostaa tornia kahdella nosturilla, koska tornin rakenteita ei ollut suunniteltu kestämään taivutusjännitystä, joka syntyisi yhdellä nosturilla nostettaessa.

Tornin nosto aloitettiin kiinnittämällä 300 tn nosturi tornin yläpään pääpilarien päihin (kuva 4). 80 tn nosturilla nostettiin tornia toisen kerroksen kohdalta, jotta taivutusjännitystä saatiin pienennettyä ja jänneväliä lyhennettyä.



Kuva 3. Nostoketjujen kiinnitystä.

Torni nostettiin ilmaan ja käännettiin pystyasentoon. Sen jälkeen pienempi nosturi vapautettiin ja isompi nosturi nosti tornin kallion päälle (kuva 5).



Kuva 4. Tornin noston vaiheet (Tuomisto, 2021).

Vastaavissa nostotilanteissa olisi parempi käyttää nostoliinoja. Tässä tapauksessa käytettävissä olevat nostoapuvälineet olivat nostoketjut. Nostoliinojen ja -ketjujen ero nostotilanteessa on se, että nostoliinat suoristuvat helpommin mahdollistaen taakan asennon suoruuden. Ongelmaksi muodostui ketjujen jäykkyys. Jos rakenne oltaisiin saatu nostettua liinoilla, olisi sen sovittaminen ollut helpompaa kalliossa oleviin jalkoihin. Nostossa käytettyjen ketjujen johdosta torni jäi roikkumaan hieman vinoon, ja se jouduttiin kiinnittämään tilapäisesti siihen asentoon (kuva 6). Torni saatiin lopuksi suoristettua käsin tunkkaamalla.



Kuva 5. Torni nostettuna paikoilleen (Tuomisto, 2021).

6 YHTEENVETO JA POHDINTA

Opinnäytetyön tavoitteena oli luoda kolmiulotteinen lintutornin ympäristön pinta- ja kasvillisuusmalli, jota täydennettiin apurakennuksilla ja vaakasuorassa asennossa rakennettavan tornin nostosuunnitelmalla ja rasiituslaskelmilla. Virtuaalitodellisuutta hyödynnettiin asioiden havainnollistamisessa.

Tornin nostotapahtuma sujui hyvin pienistä ongelmista huolimatta. Tornin rakenteet kestivät nostotapahtuman odotetusti. Opinnäytetyössä tuli perehdyttyä monen uuden ohjelmiston käyttöön ja niiden yhteensopivuuksiin. Mallintamisprosessi sujui jouhevasti ja pysyi mielenkiintoisena. Projekti olisi voitu toteuttaa muillakin tavoilla, mutta kyseiset ohjelmistot soveltuivat erinomaisesti projektin tarpeisiin. Käytännössä tornin nostoa olisi voitu vielä havainnollistaa luomalla animaatio nostotapahtumasta Unreal Enginessä.

LÄHTEET

Blender. (i.a.). <https://www.blender.org/about/>

Cloudcompare. (i.a.). *Introduction*. <https://www.danielgm.net/cc/>

Csikos, E. (8.7.2021). *Why Archicad?* <https://community.graphisoft.com/t5/Let-s-get-started/Why-Archicad/ta-p/304192>

Denham, T. (i.a.). *What is Unreal Engine?* <https://conceptartempire.com/what-is-unreal-engine/>

Google maps. (i.a.) <https://www.google.com/maps>

Graphisoft. (i.a.). *Datasmith exporter*. <https://graphisoft.com/downloads/addons/datasmith-exporter>

Huoneistostudio. (16.1.2019). *3d-mallinnus näkyy jo kaikkialla*. <https://pofvisuals.fi/3d-mallinnus-nakyy-jo-kaikkialla/>

Keitaanniemi, A. (23.11.2021). *Mikä on pistepilvi ja mihin sitä käytetään talonrakentamisessa?* <https://buildingpointfinland.fi/mika-on-pistepilvi-ja-mihin-sita-kaytettaan-talonrakentamisessa/>

Maanmittauslaitos. (i.a.). *Maanpinnan korkeusmallista saat selville maaston korkeuden*. <https://www.maanmittauslaitos.fi/kartat-ja-paikkatieto/kartat/mika-korkeusmalli>

Petty, J. (i.a.). *What is a polygon mesh?* <https://conceptartempire.com/polygon-mesh/>

Puuinfo. (22.7.2020). Eurokoodi 5 lyhennetty suunnitteluohje. <https://puuinfo.fi/suunnittelu/ohjeet/eurokoodi-5-lyhennetty-suunnitteluohje/>

Rubin, P. (7.1.2014) *The First Look at the New Oculus VR Prototype*. <https://www.wired.com/2014/01/oculus-rift/>

Siitonen, J. (i.a.). *Virtuaalitodellisuus rakennusalalla nörttien huohotusta?* <https://www.are.fi/blog/2017/09/17/virtuaalitodellisuus-rakennusalalla-norttien-huohotusta/>

Tuominen, A. (21.6.2021). *Virtuaalitodellisuuden historiaa*. <https://osaava.tredu.fi/2021/06/21/virtuaalitodellisuuden-historiaa/>

Tuomisto, J. (2021). Tornin nostettuna paikoilleen [valokuva].

Tuomisto, J. (2021). Tornin noston vaiheet [valokuva].

Tuomisto, J. (2022). Mäyräkallion Luontokeskuksen logo [kuvio].

VR Workshop. (21.1.2021). *Virtuaalitodellisuus on kiehtova käsite*.
<https://vrworkshophelsinki.fi/category/virtuaalitodellisuus/>

Wikiwand. (i.a.). *Polygonimalli*. <https://www.wikiwand.com/fi/Polygonimalli>

LIITTEET

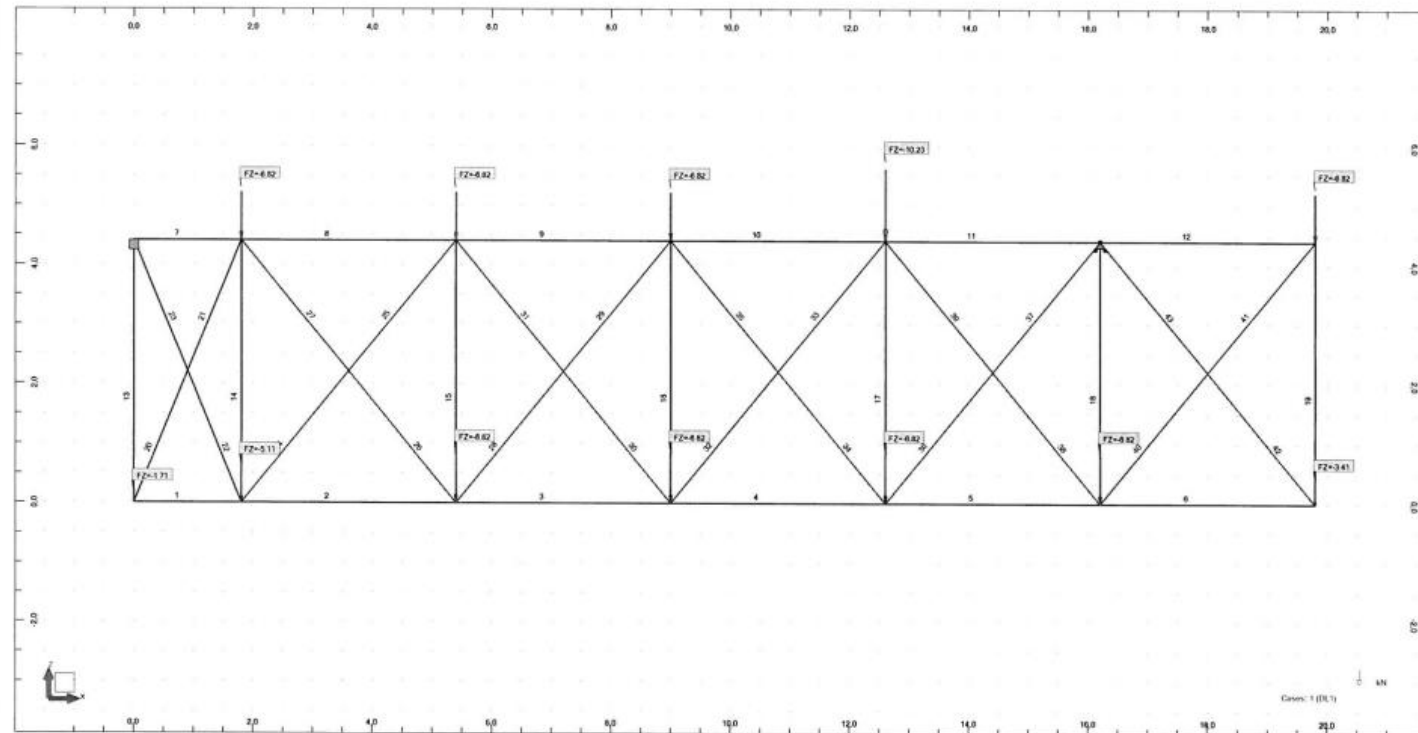
Liite 1. Robot Structural Analysis -ohjelman tuloste tasoristikon mallikuvasta ja ristikon sauvavoimista

Liite 1. Robot Structural Analysis -ohjelman tuloste tasoristikon mallikuvasta ja ristikon sauvavoimista

Autodesk Robot Structural Analysis Professional 2020
Author:
Address:

File: Ristikko_Tuomisto.rtd
Project: Ristikko_Tuomisto

View - Cases: 1 (DL1)



Date : 24/05/22

Page : 1

Autodesk Robot Structural Analysis Professional 2020
 Author:
 Address:

File: Ristikko_Tuomisto.rtd
 Project: Ristikko_Tuomisto

Forces:1 - Case: 1 (DL1)

Values

1

- Case: 1 (DL1)

| Filtering | Bar | Case |
|-----------------|-------|------|
| Full list | 1to43 | 1 |
| Selection | 1to43 | 1 |
| Total number | 43 | 1 |
| Selected number | 43 | 1 |

- Case: 1 (DL1)

| Bar/Node/Case | FX (kN) |
|---------------|---------|
| 1/ 1/ 1 | -4,26 |
| 1/ 2/ 1 | -4,26 |
| 2/ 2/ 1 | -17,90 |
| 2/ 3/ 1 | -17,90 |
| 3/ 3/ 1 | -24,27 |
| 3/ 4/ 1 | -24,27 |
| 4/ 4/ 1 | -20,76 |
| 4/ 5/ 1 | -20,76 |
| 5/ 5/ 1 | -1,01 |
| 5/ 6/ 1 | -1,01 |
| 6/ 6/ 1 | 6,58 |
| 6/ 7/ 1 | 6,58 |
| 7/ 8/ 1 | 6,90 |
| 7/ 9/ 1 | 6,90 |

Autodesk Robot Structural Analysis Professional 2020

Author:

Address:

File: Ristikko_Tuomisto.rtd

Project: Ristikko_Tuomisto

| Bar/Node/Case | FX (kN) |
|---------------|---------|
| 8/ 9/ 1 | 16,96 |
| 8/ 10/ 1 | 16,96 |
| 9/ 10/ 1 | 24,54 |
| 9/ 11/ 1 | 24,54 |
| 10/ 11/ 1 | 19,68 |
| 10/ 12/ 1 | 19,68 |
| 11/ 12/ 1 | 5,97 |
| 11/ 13/ 1 | 5,97 |
| 12/ 13/ 1 | -1,79 |
| 12/ 14/ 1 | -1,79 |
| 13/ 1/ 1 | -12,11 |
| 13/ 8/ 1 | -12,11 |
| 14/ 2/ 1 | 3,51 |
| 14/ 9/ 1 | 3,51 |
| 15/ 3/ 1 | -0,41 |
| 15/ 10/ 1 | -0,41 |
| 16/ 4/ 1 | -0,49 |
| 16/ 11/ 1 | -0,49 |
| 17/ 5/ 1 | 4,07 |
| 17/ 12/ 1 | 4,07 |
| 18/ 6/ 1 | -20,46 |
| 18/ 13/ 1 | -20,46 |
| 19/ 7/ 1 | 4,63 |
| 19/ 14/ 1 | 4,63 |
| 20/ 1/ 1 | 11,24 |
| 20/ 15/ 1 | 11,24 |

Autodesk Robot Structural Analysis Professional 2020

Author:

Address:

File: Ristikko_Tuomisto.rtd

Project: Ristikko_Tuomisto

| Bar/Node/Case | FX (kN) |
|---------------|---------|
| 21/ 15/ 1 | 11,24 |
| 21/ 9/ 1 | 11,24 |
| 22/ 2/ 1 | -18,23 |
| 22/ 15/ 1 | -18,23 |
| 23/ 15/ 1 | -18,23 |
| 23/ 8/ 1 | -18,23 |
| 24/ 2/ 1 | 10,65 |
| 24/ 16/ 1 | 10,65 |
| 25/ 16/ 1 | 10,65 |
| 25/ 10/ 1 | 10,65 |
| 26/ 3/ 1 | -9,17 |
| 26/ 16/ 1 | -9,17 |
| 27/ 16/ 1 | -9,17 |
| 27/ 9/ 1 | -9,17 |
| 28/ 3/ 1 | 0,89 |
| 28/ 17/ 1 | 0,89 |
| 29/ 17/ 1 | 0,89 |
| 29/ 11/ 1 | 0,89 |
| 30/ 4/ 1 | -1,32 |
| 30/ 17/ 1 | -1,32 |
| 31/ 17/ 1 | -1,32 |
| 31/ 10/ 1 | -1,32 |
| 32/ 4/ 1 | -6,85 |
| 32/ 18/ 1 | -6,85 |
| 33/ 18/ 1 | -6,85 |
| 33/ 12/ 1 | -6,85 |

Autodesk Robot Structural Analysis Professional 2020
Author:
Address:

File: Ristikko_Tuomisto.rtd
Project: Ristikko_Tuomisto

| Bar/Node/Case | FX (kN) |
|---------------|---------|
| 34/ 5/ 1 | 8,56 |
| 34/ 18/ 1 | 8,56 |
| 35/ 18/ 1 | 8,56 |
| 35/ 11/ 1 | 8,56 |
| 36/ 5/ 1 | -22,63 |
| 36/ 19/ 1 | -22,63 |
| 37/ 19/ 1 | -22,63 |
| 37/ 13/ 1 | -22,63 |
| 38/ 6/ 1 | 14,80 |
| 38/ 19/ 1 | 14,80 |
| 39/ 19/ 1 | 14,80 |
| 39/ 12/ 1 | 14,80 |
| 40/ 6/ 1 | 2,83 |
| 40/ 20/ 1 | 2,83 |
| 41/ 20/ 1 | 2,83 |
| 41/ 14/ 1 | 2,83 |
| 42/ 7/ 1 | -10,39 |
| 42/ 20/ 1 | -10,39 |
| 43/ 20/ 1 | -10,39 |
| 43/ 13/ 1 | -10,39 |