



Vertex BD korjausrakennushankkeen suunnittelutyökaluna

**Laserkeilauksen tuottaman datan integrointi Vertex BD
suunnitteluprosessiin**

Ammattikorkeakoulun opinnäytetyö
Rakennus- ja yhdyskuntatekniikka, insinööri (AMK)
kevät 2025
Jaakko Loponen

Koulutus Rakennus- ja yhdyskuntatekniikka, insinööri -koulutus

Tekijä Jaakko Lopenen

Vuosi 2025

Työn nimi Vertex BD korjausrakennushankkeen suunnittelutyökaluna:

Laserkeilauksen tuottaman datan integrointi Vertex BD suunnitteluprosessiin

Ohjaaja Kalle Rohola

Tässä opinnäytetyössä tutkitaan Vertex BD -suunnitteluohjelmiston soveltuvuutta sekä käytettävyyttä korjausrakennushankkeiden suunnitteluun hyödyntämällä laserkeilausta.

Laserkeilauksen avulla saatu tarkka 3D-data toimii lähtökohtana suunnitteluprosessille, ja työssä arvioitiin, kuinka tehokkaasti tämä data voidaan integroida Vertex BD -ympäristöön. Työn tavoitteena oli selvittää, voiko tällä tavalla parantaa korjausrakentamisen suunnittelun tarkkuutta, tehokkuutta ja käytettävyyttä erityisesti pienemmissä sekä rakenteeltaan yksilöllisissä hankkeissa.

Tässä hankkeessa kohteena toimi hirsirunkoinen kaksikerroksinen pientalo, johon suunniteltiin laajamittainen remontti. Remontin tarkoituksena oli luoda vanhasta asuinrakennuksesta nykyaikainen, energiatehokkaampi asunto. Suunnitelmat toteutettiin tällä hetkellä voimassa olevien rakennusmääräysten sekä suositusten mukaisesti.

Työn tuloksena tuotettiin tarkka ja jatkokehityskelpoinen 3D-rakennemalli Vertex BD -ohjelmistossa. Mallin avulla saatiin visualisoitua rakennuksen rakenneratkaisut yksityiskohtaisesti, mikä mahdollisti myös rakenteellisten ongelmakohtien tunnistamisen jo suunnitteluvaiheessa. Laserkeilauksen käyttö vähensi mittausvirheitä ja manuaalista työtä, ja Vertex BD mahdollisti pistepilviaineiston tehokkaan hyödyntämisen, vaikkakin erityisesti kaarevien ja epäsäännöllisten rakenteiden mallintamisessa kohdattiin rajoitteita.

Merkittävä havainto oli myös se, että ohjelmisto- ja laitteistokustannukset voivat muodostua esteeksi pienemmissä hankkeissa, vaikka teknologian tuomat hyödyt ovat kiistattomia. Teknologian tehokas hyödyntäminen edellyttää edelleen manuaalista osaamista ja kehitettyjä ohjelmistoratkaisuja, erityisesti pistepilvien tulkinnan automatisoinnissa.

Laserkeilauksen ja BIM-suunnitteluohjelmiston yhdistäminen on käyttökelpoinen ratkaisu erityisesti monimutkaisissa korjausrakennushankkeissa, joissa tarvitaan tarkkaa lähtötietoa ja visuaalisesti selkeää mallia suunnittelun tueksi.

Avainsanat: Rakennesuunnittelu, korjausrakentaminen, asuinrakennukset, pientalot

Sivut: 25 sivua

DP Construction and Civil Engineering, Bachelor of Engineering
Author Jaakko Lopenen Year 2025
Subject Vertex BD as a Design Tool for Renovation Projects: Integrating Laser Scanning Data into the Vertex BD Design Process
Supervisor Kalle Rohola

This thesis explores the applicability and usability of the Vertex BD design software in the planning of renovation projects by utilizing laser scanning. The precise 3D data obtained through laser scanning serves as the basis for the design process, and the study evaluates how effectively this data can be integrated into the Vertex BD environment. The objective of the thesis is to determine whether this method can improve the accuracy, efficiency, and usability of renovation project planning, particularly in smaller and structurally unique projects.

The case study focuses on a two-story log-framed house, which is planned for an extensive renovation. The purpose of the renovation is to transform the old residential building into a modern, more energy-efficient home. The plans are implemented in accordance with the currently valid building regulations and recommendations.

The outcome of the thesis was the creation of an accurate and further-developable 3D structural model using the Vertex BD software. This model enabled detailed visualization of the building's structural solutions and allowed for the early identification of structural problem areas during the design phase. The use of laser scanning significantly reduced measurement errors and manual work, and Vertex BD proved effective for utilizing point cloud data, although limitations were encountered when modeling curved or irregular structures.

A key finding was that while the benefits of the technology are clear, the high software and equipment costs may pose a barrier for smaller projects. Efficient use of the technology still requires manual expertise and more advanced software solutions, particularly in automating the interpretation of point cloud data.

Laser scanning with BIM-based design software is a viable solution, especially in complex renovation projects where precise initial data and clear visual models are essential for successful planning

Keywords Structural design, renovation construction, residential buildings, detached houses
Pages 25 pages

Sisällys

| | |
|-----------------------------------------------------------------------------------|----|
| Sisällys..... | 1 |
| Johdanto..... | 1 |
| 1 Case-kohde..... | 2 |
| 1.1 Hankkeen laajuuden kartoitus | 3 |
| 1.2 Hankkeen tavoitteet | 5 |
| 1.3 Suunnittelutyöhön vaikuttavat määräykset, asetukset sekä suositukset | 5 |
| 2 Käytettävä kalusto sekä ohjelmistot | 6 |
| 2.1 Leica BLK360 laserkeilain | 6 |
| 2.2 Vertex BD | 6 |
| 2.3 Leica Cyclone Register 360 | 7 |
| 2.4 Vertex Sync projektinhallintatyökalu..... | 8 |
| 3 Laserkeilaus..... | 8 |
| 3.1 Kohteen laserkeilaus..... | 9 |
| 3.2 Laserkeilausaineiston käsittely..... | 11 |
| 4 3D-rakennemallin luominen Vertex BD-ohjelmalla..... | 13 |
| 4.1 Laserkeilausaineiston tuominen Vertex BD-ohjelmaan..... | 13 |
| 4.2 Pistepilven harvennus, hajapisteidien poisto sekä kolmioverkon luominen | 14 |
| 4.3 Seinä- ja tasopintojen määrittäminen | 15 |
| 4.4 Seinien mallinnus | 16 |
| 4.5 Perustusten sekä alapohjan mallinnus | 17 |
| 4.6 Välipohjan sekä yläpohjan mallinnus..... | 18 |
| 4.7 Aukkojen määrittäminen..... | 19 |
| 4.8 Rakennemallin viimeistely | 19 |
| 5 Päätelmät ja yhteenveto..... | 21 |
| 5.1 Hyödyt ja mahdollisuudet | 21 |
| 5.2 Haasteet ja rajoitteet | 22 |
| 5.3 Kehitysehdotukset..... | 22 |
| 5.4 Johtopäätökset..... | 23 |
| 6 Lähteet..... | 24 |

Kuvat

| | |
|--------------------------------------------------------|----|
| Kuva 1. Rakennuksen pohjapiirros..... | 2 |
| Kuva 2. Raportin yleisnäkymä..... | 12 |
| Kuva 3. Pistepilvi ladattuna Vertex BD- alustalle..... | 14 |
| Kuva 4. Pintojen määrittäminen pistepilvimalliin..... | 16 |
| Kuva 5. Pintaan määritetty ikkuna-aukko..... | 19 |
| Kuva 6. Valmis rakennemalli..... | 20 |

Taulukot

| | |
|-----------------------------------------------|---|
| Taulukko 1. Remonttistoria..... | 3 |
| Taulukko 2. Teknisen käyttöiän kartoitus..... | 4 |

Johdanto

Tässä opinnäytetyössä tutkitaan Vertex BD -suunnitteluohjelmiston soveltuvuutta ja käytettävyyttä korjausrakennushankkeiden suunnittelussa hyödyntämällä laserkeilausta. Laserkeilauksen avulla saatu tarkka 3D-data toimii suunnitteluprosessin lähtökohtana. Työssä arvioidaan, kuinka tehokkaasti tämä data voidaan integroida Vertex BD -ympäristöön, ja millä tavoin se voi parantaa korjausrakentamisen suunnittelun tarkkuutta, tehokkuutta ja käytettävyyttä. Tutkimuksen erityinen painopiste on pienten ja rakenteeltaan yksilöllisten hankkeiden suunnittelun kehittämisessä.

Tutkimuksen case-kohteena on hirsirunkoinen, kaksikerroksinen pientalo, johon suunnitellaan laajamittaista peruskorjausta. Remontin tavoitteena on muuttaa vanha asuinrakennus nykyaikaiseksi ja energiatehokkaaksi kodiksi. Kohteessa hyödynnetään laserkeilausta, jonka tuottaman tarkan 3D-datan perusteella laaditaan suunnitelmat Vertex BD -ohjelmistossa. Työssä ei oteta kantaa remontin toteuttamisesta aiheutuviin kustannuksiin, mutta suunnitelmat laaditaan voimassa olevien rakennusmääräysten ja suositusten mukaisesti.

Työn tuloksena kohteesta tuotetaan mittatarkka 3D-rakennemalli. Suunnitteluprosessissa arvioidaan erityisesti:

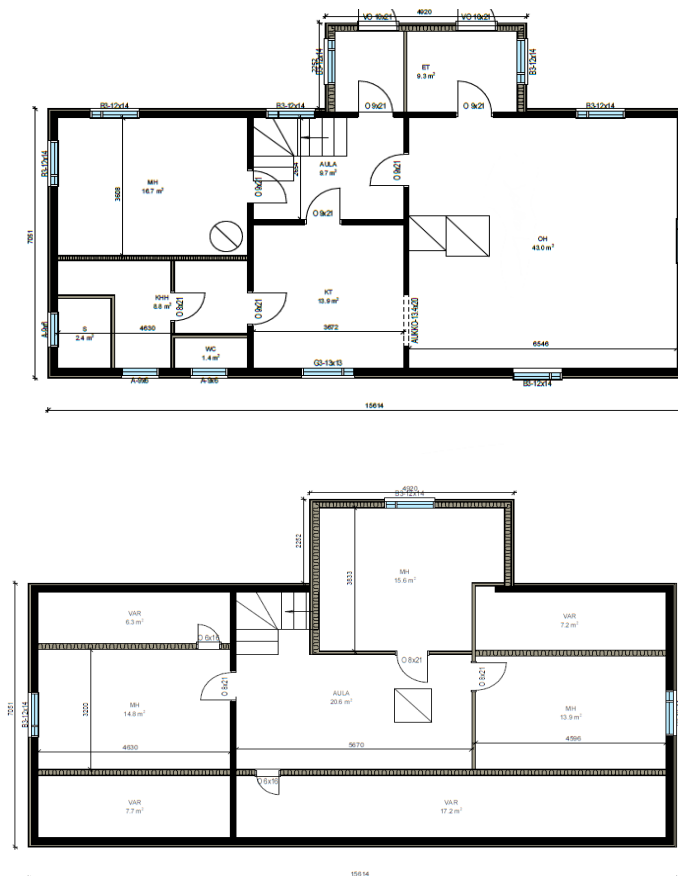
- Kuinka hyvin laserkeilauksen tuottama data voidaan hyödyntää Vertex BD -ohjelmistossa?
- Onko kyseinen prosessi sovellettavissa myös muihin vastaaviin kohteisiin?
- Millaisia haasteita ja mahdollisuuksia laserkeilauksen ja Vertex BD:n yhdistäminen tuo korjausrakentamiseen?
- Minkälaista lisäarvoa laserkeilaus tuottaa hankkeen suunnitteluprosessiin?

Tutkimus pyrkii tuottamaan käytännönläheisiä ratkaisuja, joita voidaan soveltaa korjausrakennushankkeiden suunnittelussa erityisesti pientaloihin. Lopputulos auttaa arvioimaan, voidaanko Vertex BD:n ja laserkeilauksen yhdistelmällä tehostaa perinteisiä suunnittelumenetelmiä ja vastata nykyaikaisen rakennussuunnittelun vaatimuksiin.

1 Case-kohte

Tämän työn kohteena toimii 1880-luvulla rakennettu perinteinen pelkkahirsirunkoinen kaksitasoinen omakotitalo (kuva 1). Talossa on tuulettuva alapohja ja kattorakenne on toteutettu kattovasoilla. Talo on kertaalleen siirretty vuonna 1933. Siirron yhteydessä taloa on jatkettu sekä korotettu. Tämän laajan muutostyön ohessa asunto päivitettiin sen aikakauden tyylin mukaisesti. Talouden pesutilat sijaitsivat vuoteen 1971 saakka ulkosaunassa. Tämän jälkeen rakennukseen tehtiin sisä-wc, kylpyhuone sekä sisäsauna. Saatujen tietojen mukaan talo on toiminut kahden perheen asuntona vuoteen 1966 saakka. Asunnot ovat jakautuneet ylä- sekä alakerrokseen. Yläkerrokseen on ollut erillinen sisäänkäynti. Pesutilat olivat yhteiset.

Kuva 1. Rakennuksen pohjapiirros



1.1 Hankkeen laajuuden kartoitus

Kohteen remontin laajuuden kartoitus aloitettiin silmämääräisellä tarkastelulla sekä talon remonttistorian selvittämisellä. Remonttistorian selvittämisessä haasteita toi tehtyjen dokumentointien puutteellisuus. Saadut tiedot perustuvat kohteen omistajien sekä naapureiden kertomuksiin. Saatujen tietojen mukainen remonttistoria on esitetty taulukossa 1.

Taulukko 1. Remonttistoria

| Tehty toimenpide | Tiedon lähde | Toteutusvuosi |
|---------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------|---------------|
| Talon siirto, korotus, pidennys sekä päivitys aikakauden mukaiseksi | Päiväkirjan muistiinpano sekä naapureiden perimätieto | 1933 |
| Tiilikaton teko pärekaton päälle | Naapureiden perimätieto | 1945 |
| Yläkertaan johtavien portaiden siirto sisälle sekä muokkaus yhden perheen tarpeeseen. | Nykyisen omistajan tieto | 1966 |
| Asunnon sähköistys, lämmitysjärjestelmän päivitys sekä vesijärjestelmän asennus. | Nykyisen omistajan tieto | 1967 |
| Kylpyhuoneen, WC sekä saunan rakennus sekä asunnon päivitys aikakauden mukaiseksi. | Nykyisen omistajan tieto sekä rakennuslupa | 1971 |
| Asuinhuoneen lisäys yläkertaan | Nykyisen omistajan tieto | 1975 |
| Sähköisen lattialämmityksen sekä laatoituksen asennus märkätiloihin | Nykyisen omistajan tieto sekä remonttiin liittyviä tositteita | 1992 |
| Tiilikatteen vaihto peltikatteeksi sekä sadevesijärjestelmän asennus | Nykyisen omistajan tieto sekä remonttiin liittyviä tositteita | 1995 |
| Asuintilojen ikkunoiden uusiminen | Nykyisen omistajan tieto sekä remonttiin liittyviä tositteita | 1997 |
| Julkisivuremontti sekä sadevesijärjestelmän päivitys | Nykyisen omistajan tieto sekä remonttiin liittyviä tositteita | 2015 |

Kohteeseen teetettiin kuntokartoitus asiantuntijan toimesta helmikuussa 2025. Kuntokartoituksen tavoitteena on tarkentaa hankkeen korjauksen taloudellista kannattavuutta sekä laajuutta. Hankkeen taloudellista kannattavuutta mitattiin kuntokartoittajan määrittämien toimenpiteiden kustannuksien sekä kiinteistön nykyisen arvon yhdistelmällä. Tätä verrattiin korjaustoimenpiteen vertailuvaihtoehtona toimivan uuden asunnon rakennuttamiseen huomioiden uusien/uusittavien rakenteiden käyttöikä. Kuntokartoituksessa tehtyjen havaintojen sekä korjaussuositusten perusteella talon remontointi oli tässä tapauksessa taloudellisesti järkevä vaihtoehto. Päätöksen tekemiseen vaikuttivat osaltaan myös tunnesiteet taloa kohtaan.

Kuntokartoituksen perusteella rakennus olisi edelleen täysin asuinkelpoinen, mutta monen rakenneosan kohdalla Rakennustieto RT 18-10922 mukainen tekninen käyttöikä on tullut täyteen. Taulukko 2 kertoo eri rakenneosien teknisen käyttöiän sekä nykyisten rakenteiden iän. Rakennuksessa ei havaittu merkittäviä lahovaurioita, Mikrobikasvustoa eikä jälkiä vesivahingosta. Rakenteiden todellisen kunnan määrittäminen yksittäisten koepalojen tai koereikien perusteella on haastavaa ja todellinen kunto selviää vasta rakenteita purettaessa.

Taulukko 2. Teknisen käyttöiän kartoitus

| Rakenneosa | Rasitusluokka | Valmistumisvuosi | Tekninen käyttöikä | Jäljellä oleva aika |
|-----------------------|---------------|------------------|--------------------|---------------------|
| Perustukset | Ei määritellä | 1933 | 50 | -42,00 |
| Alapohjat | 2 | 1933 | 50 | -42,00 |
| Runko | Ei määritellä | 2015 | 50 | 40,00 |
| Ulkoseinäverhoukset | 2 | 1997 | 60 | 32,00 |
| Ikkunat | 2 | 1971 | 40 | -14,00 |
| Ovet | 2 | 1971 | 40 | -14,00 |
| Vesikatto (peltikate) | 2 | 1995 | 40 | 10,00 |
| Sadevesijärjestelmä | 2 | 2015 | 30 | 20,00 |
| Väliseinät | Ei määritellä | 1966 | 50 | -9,00 |
| Väliovet | 2 | 1966 | 50 | -9,00 |
| Muovimatto | 2 | 1971 | 30 | -24,00 |
| Lankkulattia | 2 | 1933 | 40 | -52,00 |
| Märkätilojen pinnat | 2 | 1971 | 20 | -34,00 |
| Sisäkatot | 2 | 1966 | 30 | -29,00 |
| Seinäpinnat | 2 | 1971 | 20 | -34,00 |
| Kalustus | 2 | 1971 | 20 | -34,00 |
| Lämmitysjärjestelmä | 2 | 1966 | 40 | -19,00 |
| Sähköosat | 2 | 1971 | 40 | -14,00 |
| Viemäriputket | 2 | 1971 | 40 | -14,00 |
| Käyttövesiputket | 2 | 1971 | 40 | -14,00 |

1.2 Hankkeen tavoitteet

Korjaushankkeen tavoitteena on uusia tarvittavat rakenteet sekä talotekniikka perusteellisesti sekä nykymääräyksiä noudattaen. Maalämpöjärjestelmällä pyritään pienentämään rakennuksen suuria lämmityskustannuksia talon energiatehokkuuden ja tyylin suhteen tehdään kompromisseja seinien osalta. Ulkoseinät jätetään sisäpuolelta hirsipinnalle vanhan tyylin kunnioittamiseksi. Tämä pienentää rakennuksen vaipan tiiveyttä huomattavasti. Remontissa suurin huomio kiinnittyy lämmitysjärjestelmän uusimisen lisäksi märkätiloihin sekä keittiön uusimiseen. Tehokkaalla tila- ja kalustesuunnittelulla pyritään luomaan tiloista toimivia, nykyisten huonekokojen sallimissa rajoissa. Alakerrassa sijaitseva makuuhuone tulee toimimaan jatkossa etätyöpisteenä. Kylmäeteisestä muutetaan lämmin tila, sekä sinne tehdään tila talon teknisille laitteilla, kuten maalämpökoneelle.

Yläkerrassa olevat väliseinät siirretään sekä laajennetaan siten, että reunoilla olevat kylmävarastot muuttuvat lämpimäksi tilaksi. Yläkerran huoneiden lukumäärä pysyy samana, mutta lisäyksenä tulevat suihku- sekä WC-tilat. Alakerran märkätiloissa kodinhoituhuone laajenee ja sauna puretaan kokonaan pois. Saunominen tapahtuu jatkossa erillisessä saunarakennuksessa. (RT-18-10922, 2008, s.4-8)

1.3 Suunnittelutyöhön vaikuttavat määräykset, asetukset sekä suositukset

Kohde sijaitsee taajaman ulkopuolella ja tästä syystä tehtävien toimenpiteiden lupakäytännöt ovat hieman taajamarakentamista kevyemmät. Näin laajaa remonttia tehdessä täytyy joka tapauksessa huomioida lain vaatimat toimenpiteet ja käytännöt. Rakennustöissä tulee toimia oman kunnan rakennusvalvonnan ohjeistuksien mukaisesti sekä määrittää työmaalle vastaava mestari sekä valvoja. (Valtioneuvoston asetus jätevesien käsittelystä viemäriverkoston ulkopuolisilla alueilla (157/2017)). Ympäristöministeriön asetus rakennuksen energiatehokkuuden parantamisesta korjaus- ja muutostöissä (4/13). Maankäyttö- ja rakennuslaki (132/1999).

2 Käytettävä kalusto sekä ohjelmistot

Tässä luvussa esitellään suunnittelu- ja mittausprojektissa käytetyt keskeiset laitteet ja ohjelmistot. Kalustoon kuuluu sekä fyysisiä mittalaitteita että digitaalisen mallintamisen ja tiedonhallinnan työkaluja, joiden avulla varmistetaan työn tarkkuus, tehokkuus ja yhteensopivuus eri suunnitteluvaiheiden välillä. Esittelyssä ovat Leica BLK360 -laserkeilain, Vertex BD -suunnitteluohjelmisto, Leica Cyclone Register 360 -pistepilviohjelma sekä Vertex Sync -projektinhallintatyökalu.

2.1 Leica BLK360 laserkeilain

Leica BLK360 on kompakti ja kannettava laserkeilain, joka on suunniteltu tuottamaan tarkkoja 3D-pistepilviä sekä visuaalisia aineistoja esimerkiksi arkkitehtuurin, rakentamisen ja tilatiedonhallinnan tarpeisiin. Keilain yhdistää 360 asteen laserskannauksen, HDR-kuvauksen ja lämpökamerateknologian yhdeksi tehokkaaksi kokonaisuudeksi, mahdollistaen monipuolisen tiedonkeruun yhdellä laitteella. Laitteessa hyödynnetään tarkkaa LiDAR-teknologiaa, joka mahdollistaa skannauksen jopa 680 000 pistettä sekunnissa 0,4–60 metrin etäisyydeltä. Keilain saavuttaa mittaustarkkuuden ± 4 mm 10 metrin etäisyydellä ja säilyttää korkean tarkkuuden myös suuremmilla etäisyyksillä. BLK360 sisältää sisäänrakennetun inertiamittausyksikön (IMU), joka parantaa laitteen liikkeenhallintaa ja skannauksen stabiliteettia erityisesti dynaamisissa ympäristöissä. BLK360:n tuottama data on täysin yhteensopiva Leica Cyclone, Autodesk Recap ja muiden ammattilaistason ohjelmistojen kanssa, mikä mahdollistaa sujuvan tiedonsiirron ja pistepilviaineiston jatkokäsittelyn. Laitteen kompakti muotoilu, vain 1 kg paino ja akunkesto, joka on noin 3 tuntia, tekevät siitä hyvin soveltuvan kenttäolosuhteisiin. BLK360:n avulla käyttäjät voivat luoda tarkkaa 3D-dokumentaatiota tehokkaasti ja ilman ylimääräisiä lisälaitteita. (Leica Geosystems, n.d.)

2.2 Vertex BD

Vertex BD on rakennussuunnitteluun tarkoitettu parametrinen BIM (Building Information Modeling) -ohjelmisto, joka on suunniteltu erityisesti elementti- ja tilaelementtirakentamisen tarpeisiin. Ohjelmisto mahdollistaa rakenne- ja detaljisuunnittelun yhdistämisen saumattomasti 3D-mallinnukseen, tarjoten tehokkaan työkalun monimutkaisten rakennusprojektien hallintaan.

Vertex BD hyödyntää älykkäitä parametrisia malleja, jotka mukautuvat suunnittelun aikana tehtyihin muutoksiin automaattisesti. Ohjelmisto tukee useiden rakennemateriaalien, kuten teräksen, puun ja betonin, käsittelyä, mahdollistaen yksityiskohtaisen rakennesuunnittelun sekä materiaalilaskennan. Sen avulla voidaan myös tuottaa tarkat piirustukset, materiaalistaukset ja valmistusdokumentit suoraan 3D-mallista, mikä vähentää virheitä ja nopeuttaa tuotantoprosessia. Lisäksi Vertex BD tarjoaa työkalut rakennusmääräysten ja -standardien hallintaan, jolloin suunnitelmat vastaavat paikallisia vaatimuksia. Käyttöliittymä on suunniteltu tukemaan suurten tietomallien hallintaa ja yhteistyötä eri projektitiimien välillä. Vertex BD integroituu myös muihin BIM-työkaluihin ja tietomallipohjaisiin prosesseihin. (Vertex Systems, n.d.-a)

2.3 Leica Cyclone Register 360

Leica Cyclone Register 360 on ohjelmisto, joka on suunniteltu pistepilvien käsittelyyn ja rekisteröintiin, erityisesti laserkeilaimilla tuotetun 3D-datan hallintaan. Ohjelmisto mahdollistaa keilausaineiston nopean ja tarkan yhdistämisen (rekisteröinnin), jolloin yksittäiset skannaukset voidaan yhdistää yhtenäiseksi, georeferoiduksi pistepilvimalliksi. Cyclone Register 360 tukee automaattista rekisteröintiä, hyödyntäen visuaalisia ja geometrinen kohteiden tunnistamiseen perustuvia algoritmeja. Se tarjoaa myös manuaaliset työkalut, joiden avulla käyttäjä voi hienosäätää rekisteröintituloksia. Ohjelmisto käyttää tarkkuuden varmistamiseen laadunarviointityökaluja, kuten virheanalyysiä ja värikoodausta, jotka auttavat havainnollistamaan rekisteröinnin laatua. Ohjelmisto on optimoitu käsittelemään suuria pistepilviaineistoja tehokkaasti, ja se tukee useiden eri tiedostomuotojen vientiä ja tuontia, mahdollistaen yhteensopivuuden muiden BIM-, CAD- ja GIS-ohjelmistojen kanssa. Cyclone Register 360 tarjoaa myös visualisointiominaisuuksia, kuten 3D-näkymiä ja leikkauskuvia, jotka helpottavat aineiston tarkastelua ja jatkokäsittelyä. Käyttöliittymä on suunniteltu intuitiiviseksi, mikä mahdollistaa nopean oppimiskäyrän ja sujuvan työnkulun sekä yksittäisille käyttäjille että tiimeille. Ohjelmisto integroituu saumattomasti Leica Geosystems-laitteisiin, kuten BLK360-keilaimeen, ja tukee pilvipohjaista tiedonjakamista. (Leica Geosystems, n.d.)

2.4 Vertex Sync projektinhallintatyökalu

Vertex Sync on tekninen työkalu, joka synkronoi ja hallitsee 3D-mallin geometrian solmuja (vertices) eri sovelluksissa tai työkaluketjuissa. Sen pääasiallinen tarkoitus on varmistaa, että geometrian muutokset, kuten vertex-asemien tai normaalien muokkaukset, näkyvät johdonmukaisesti kaikissa mallin instansseissa tai osissa. Tämä on erityisen tärkeää monimutkaisissa tuotantoprosesseissa, kuten pelinkehityksessä ja elokuvateollisuudessa, joissa geometrian ja sen muutosten hallinta on kriittistä.

Vertex Sync -työkalun avulla voidaan:

- Synkronoida Vertex-tiedot: Se varmistaa, että solmut, jotka ovat osa useita objekteja tai geometrian osia, pysyvät yhdenmukaisina ja synkronoituna eri ohjelmien tai työkalujen välillä.
- Vähentää virheitä: Se minimoi mahdolliset geometrian epäyhtenäisyydet ja virheet, jotka voivat syntyä, kun malli siirretään tai muokataan eri sovelluksissa.
- Tehostaa työskentelyä: Sen avulla voidaan säilyttää tarkkuus ja johdonmukaisuus monimutkaisessa geometrian muokkauksessa ilman manuaalista puuttumista jokaiseen yksityiskohtaan.

Tämä työkalu perustuu usein vertauskohtiin, kuten vertikaalisiin tai hierarkkisiin solmujen yhteyksiin, ja se voi olla hyödyllinen erityisesti 3D-animaatiossa ja dynaamisessa simulaatiossa, joissa geometrian muutos vaikuttaa muihin osiin tai malleihin. (Vertex Systems, n.d.-b)

3 Laserkeilaus

Laserkeilaus (LIDAR, Light Detection and Ranging) on etäisyyksien mittaustekniikka, jossa käytetään laserpulsseja pinnan skannaamiseen ja kolmiulotteisten pistepilvien luomiseen. Keilain lähettää lyhyitä, korkeataajuisia laserpulsseja kohteeseen ja mittaa niiden takaisinpaluajan (eli aikaviiveen), joka riippuu etäisyydestä kohteeseen. Näistä mittauksista saadaan tarkkoja koordinaatteja (XYZ-arvot), jotka muodostavat pistepilven. Laserkeilausjärjestelmät koostuvat pääasiassa laserlaitteesta, skannereista ja GPS- tai inertiatunnistimista (IMU), jotka varmistavat mittausten sijaintitarkkuuden.

Laserpulsseja voi olla miljoonia sekunnissa, ja niiden avulla voidaan skannata suuria alueita erittäin tarkasti ja nopeasti, jopa muutaman millimetrin tarkkuudella. Tekniikkaa käytetään muun muassa maanpinnan mallintamisessa, rakennus- ja infrastruktuurikohteiden 3D-mallinnuksessa sekä maastokartoituksessa. Pistepilven käsittely ja analysointi voidaan tehdä erilaisten ohjelmistojen avulla, joissa voidaan suorittaa muun muassa pinnan muotojen, korkeuserojen ja muiden geometrinen ominaisuuksien laskentaa.

3.1 Kohteen laserkeilaus

Kohteen laserkeilaus alkoi alkukartoitusvaiheella. Tässä vaiheessa tehdään laserkeilaussuunnitelma, poistetaan tai siirretään isoja kalusteita sekä irrotetaan verhot ja muut seinäpintoja peittävät materiaalit. Tässä kohteessa, joidenkin tilojen ahtauden takia jouduttiin irrottamaan myös muutama ovilehti. Laserkeilaussuunnitelman sisältö:

- **Projektin tavoite ja käyttötarkoitus**
Määritellään, miksi laserkeilausta suoritetaan (esim. rakennusmittaukset, maastokartoitus, 3D-mallinnus).
- **Kohteen kuvaus**
Kohteen tyyppi (esim. rakennus, maasto, infrastruktuuri) ja tarkemmat tiedot (sijainti, koko, erityispiirteet).
- **Mittausalue ja -alueen rajoitukset**
Määritellään skannattava alue ja mahdolliset esteet, jotka voivat vaikuttaa mittaustuloksiin (esim. esteet, rakennukset).
- **Aikataulu**
Mittauksien ajankohta, kesto ja mahdolliset aikarajat, ottaen huomioon säilytettävät olosuhteet (esim. sään vaikutus).
- **Laserkeilauksen laitteet ja välineet**
- Käytettävät laitteet (esim. LIDAR-skanneri, GNSS-tekniikka, IMU) ja niiden tarkkuus.
- **Tarkkuusvaatimukset**
Haluttu mittaustarkkuus (esim. millimetrit tai senttimetrit) ja mitä tarkkuusvaatimuksia kohteelle asetetaan.
- **Skannausmenetelmät ja -strategiat**
Miten skannaus toteutetaan (esim. kiinteät skannauspisteet, liikkuvat laitteet), ja kuinka skannausta ohjataan kohteen mukaan.

- **Datankäsittely ja analysointi**
Kuinka kerättyä dataa käsitellään ja analysoidaan (esim. pistepilvien suodatus, georeferointi, 3D-mallinnus).
- **Laadunvalvonta ja tarkastus**
Menetelmät kerätyn datan tarkistamiseksi ja virheiden minimoimiseksi (esim. vertailu maastokartoituksiin, tarkistus mittaustulosten paikkatiedoissa).
- **Turvallisuus ja ympäristön huomioiminen**
Turvallisuusohjeet mittauspaialla, mukaan lukien mahdolliset riskit ja ympäristön suojelemisen toimenpiteet.
- **Raportointi ja dokumentointi**
Miten tulokset dokumentoidaan, esitetään ja raportoidaan asiakkaille tai muille osapuolille.
- **Kustannusarvio ja resurssien hallinta**
Arvio projektin kustannuksista, tarvittavista resursseista (henkilöstö, laitteet, ohjelmistot) ja budjetista.
- **Sääolosuhteet ja niiden vaikutus**
Mahdolliset sääolosuhteet, jotka voivat vaikuttaa keilausprosessiin, ja varautumissuunnitelmat.
- **Lupien ja säädösten noudattaminen**
Mahdolliset lupatarpeet (esim. alueen käyttö, ilmakuvaus) ja sääntöjen noudattaminen.

Kohteen keilauspistekarttaa tehdessä tulee ottaa huomioon kohteen muodot sekä kalusteiden määrät. Sokkelomaisissa tiloissa keilauspisteiden määrää täytyy lisätä, että saadaan riittävästi samoja pisteitä yhtenäisen pistepilven muodostamiseen. Leican laserkeilaimen käyttösovellus piirtää reaaliaikaisesti tarkasteltavaa pistepilvimallia. Mallista on helppo havaita ja tehdä korjaukset, mikäli keilaustulokset eivät integroidu halutulla tarkkuudella. Pistepilviaineiston Georeferoinnin helpottamiseksi mittauspisteistä pyritään luomaan verkko, jossa yhdestä mittauspisteestä on suora yhteys kahteen muuhun mittauspisteeseen. Tämänlaisten kolmioverkkojen luonnilla päästään parhaimpaan mahdolliseen lopputulokseen.

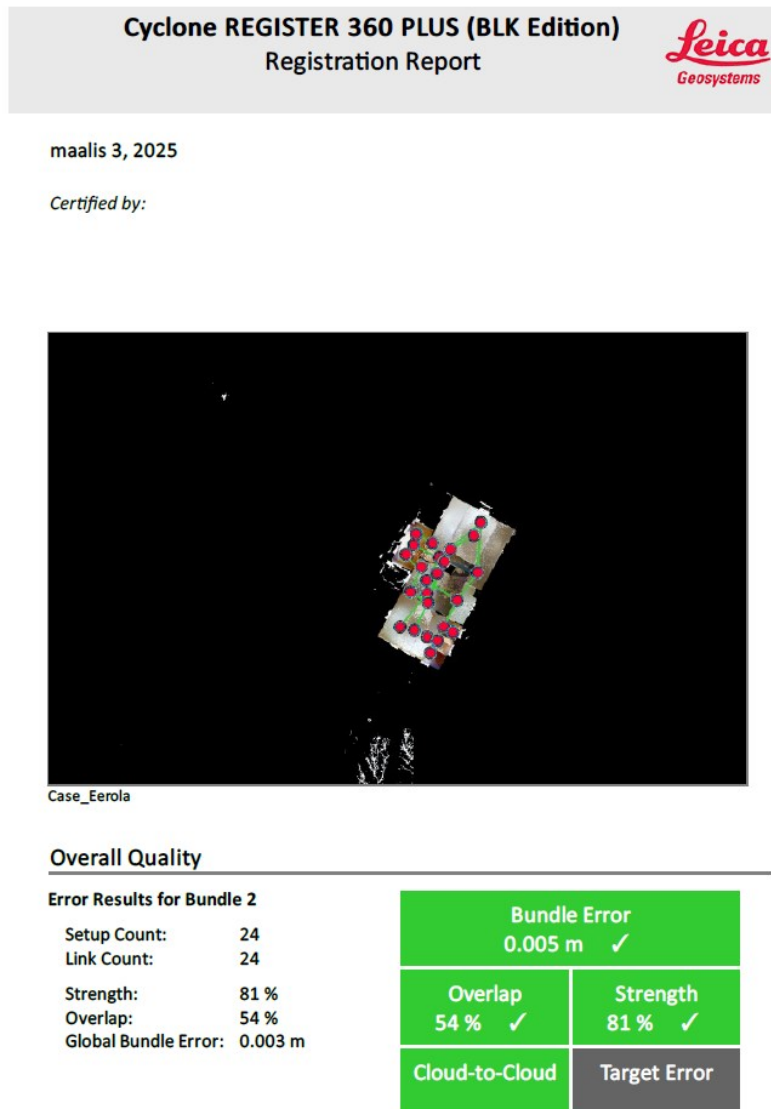
3.2 Laserkeilausaineiston käsittely

Laserkeilausaineiston esikäsittely suoritetaan keilainvalmistajan kehittämän ohjelmiston avulla. Tässä työssä oli käytössä Leica Cyclone register 360. Laserkeilaus aineiston siirtäminen alkoi yhteyden muodostamisella laitteen- ja ohjelmiston välille. Aineisto siirretään ohjelmaan import-toiminnolla. Työssä käytetty laserkeilain tallentaa tietoa Leican imp-tiedostomuodossa. Tätä tiedostomuotoa käytettäessä muunnosten käyttämistä ei vaadita. Aineiston tuonnissa ohjelmaan tuodaan kaksi eri tiedostoa. Karttataso, jossa on laitteen skannauspisteiden XYZ-koordinaatit. Tämän kartan sijaintitiedot perustuvat laserkeilaimen sisäiseen GPS-paikantimeen. Tämä lisäksi keilain luo videokuvaa aktiivisesta skannaushetkestä, jonka perusteella laite mittaa etäisyyksiä eri objekteihin. Tätä toimintoa kutustaan georeferoinniksi. Ohjelma luo automaattisesti linkkejä mittauspisteiden välille. Mittauspisteiden sijaintitarkkuuksia voidaan parantaa tekemällä kolmen mittauspisteen välisiä linkityksiä.

Paikkatietojen tuonnin jälkeen tuodaan itse pistepilviaineisto. Ohjelma siirtää pistepilven automaattisesti koordinaattipisteiden sijaintien mukaan paikoilleen. Laserkeilauksessa voidaan käyttää apuna erilaisia Target-pisteitä, jolle laserkeilain luo koordinaatit ja käyttää niitä kiintopisteinä pistepilvien yhdistämisessä. Tällä targeted-based-menetelmällä voidaan liittää laajoja ja tasaisia pintoja tarkasti yhdeksi pilveksi. Tässä tilanteessa käytetty cloud-to-Cloud-menetelmä perustuu samankaltaisten pistekuvioiden yhdistämiseen sekä niiden kautta tehtävään sijainnin määritykseen. Cloud-to-Cloud-menetelmä toimii hyvin kohteissa, joissa on monenlaisia yksilöllisiä rakenteita. Korkeasta automaatiotasosta huolimatta aineiston manuaaliselle käsittelylle on tarvetta. Manual registration- toiminnolla eri mittauspisteiltä luotuja pistepilviä voidaan liikuttaa manuaalisesti yhteen erilaisia kiintopisteitä apuna käyttäen. Manuaalisesta käsittelystä on apua kahdessa tasossa olevien rakennusten kerrosten välisiä yhteyksiä luodessa.

Pistepilviaineiston rekisteröinnin jälkeen ohjelma luo rekisteröinnistä rekisteröintiraportin (registration Report). Raportissa selviää skannauspisteiden määrä (Setup count), linkitettyjen skannauspisteiden määrä (link count), Rekisteröinnin vahvuus eli pistepilvien yhteensopivuus (strenght), Pistepilvien päällekkäisyysaste (overlap) sekä koko aineiston keskimääräinen virhe (clobal bundle error). Rekisteröinnin vahvuus 81 % on kohteen vaativuudesta huolimatta riittävä. Pilvien päällekkäisyysaste 54 % tarkoittaa, että skannausten väliltä löytyy riittävästi samoja pisteitä. Aineiston keskimääräinen virhe 0,003m täyttää toleranssivaatimukset. Pistepilvitietojen onnistuneen rekisteröinnin jälkeen rekisteröintiraportti hyväksytään ja siirrytään seuraavaan vaiheeseen.

Kuva 2. Raportin yleisnäkymä



Laserkeilauksessa syntyy lähes aina erilaisia hajapisteitä valoa läpiseivistä pinnoista tai aukoista, kuten ikkunat johtuen. Laserkeilaimen maksimimittaussädettä, voidaan muokata käyttösovelluksen kautta arvoihin 5–50 m. Tässä työssä maksimi mittaussäde säädettiin 20 metriin. Leica Cyclone 360- ohjelmalla voidaan tehdä muokkauksia ja mittauksia pistepilvimalliin. Mitattava kohteen ulkopuolella olevat pisteet voidaan poistaa limit box-työkalulla, jossa määritetään raamit, joiden ulkopuolella olevat pisteet poistetaan. Clean-Up- ja fence selection- toiminnoilla voidaan määrittää pienempiä yksittäisiä alueita, joista pisteitä halutaan poistaa. Näillä toiminnoilla voidaan poistaa yksittäisiä kalusteita tai toissijaisia kappaleita. Slice tool-toiminnolla pistepilvestä voidaan tehdä poikkileikkaus, jolloin alueiden raja-
aus on helpompaa. Pistepilviaineiston puhdistaminen hajapisteistä tms. keventää mallia ja helpottaa sen käsittelyä jatkossa.

Leica laserkeilaimet tukevat viennin osalta seuraavia tiedostomuotoja:

- .E57 (Universal Point Cloud Format), Yleisimpiä CAD-ohjelmia tukeva muoto
- .LAS / .LAZ - LiDAR-standardiformaatti, Käytetään erityisesti GIS- ja maastomallinnuksessa
- .RCP / .RCS – Autodesk ReCap-formaatti, käytetään Autocadin ohjelmistoissa.
- .XYZ / .PTS – ASCII-pistepilviformaatti, sisältää koordinaattidataa, mutta ei metatietoja.

Vertex BD-ohjelmisto tukee ja toimii saumattomammin E57 tiedostomuotoa käytettäessä. E57-tiedostomuoto on laajasti käytetty standardisoitu tiedostomuoto, joka on kehitetty pistepilviaineistojen käsittelyyn ja siirtämiseen. E57-tiedostomuoto tukee aineistoissa olevia Metatietoja eli koordinaatteja ja tarkkuustietoja, värejä ja pintatietoja ja sillä voidaan siirtää kokonainen useamman mittauspisteen mittaus kerrallaan. E57-tiedostomuoto on pakattu tiedosto, joka nopeuttaa aineiston käsittelyä ja siirtämistä. (Leica Geosystems, n.d.)

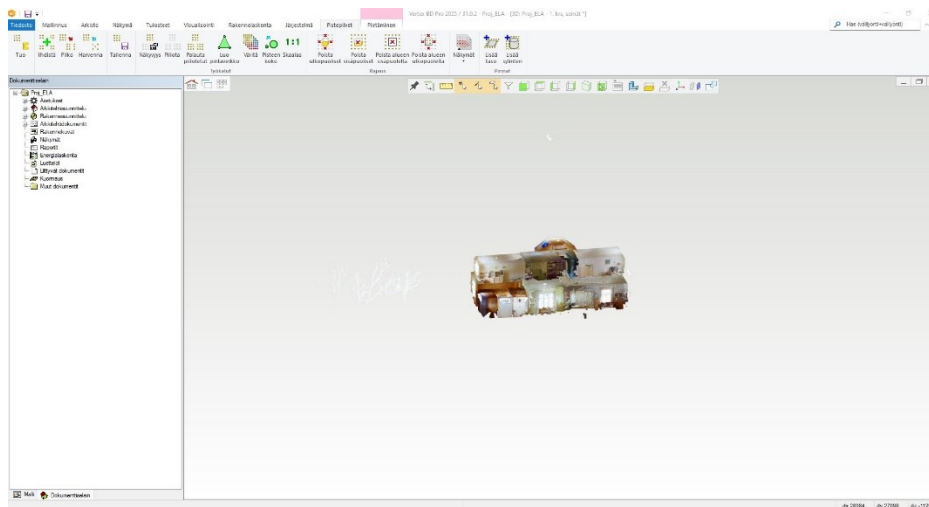
4 3D-rakennemallin luominen Vertex BD-ohjelmalla

Tässä luvussa käsitellään pistepilviaineiston käsittelyä sekä 3D-rakennemallin luomista Vertex BD-ohjelmalla. Vertex BD-ohjelmisto tarjoaa pistepilviaineiston käsittelyyn soveltuvaa työkalua uusimissa BD-täysversioissa. Vertexin tarjoama ilmainen Student License-versio ei tue pistepilviaineiston käsittelyyn soveltuvaa työkalua.

4.1 Laserkeilausaineiston tuominen Vertex BD-ohjelmaan

Pistepilviaineiston käsittely alkaa tuomalla aineisto ohjelmaan Import-toiminnolla. Vertex BD tukee useita eri pistepilvi-tiedostomuotoja. Aineiston tuonnin ja käsittelyn kannalta parhain tiedostomuoto on pakattu E57 tiedostoformaatti. Tässä formaatissa ovat sekä pistepilviaineistot sekä mittauspisteiden koordinaattitiedot. Tämä tiedostoformaatti toimii tämän kohteen tyylisisissä pienimmissä keilauksissa parhaimmin. Isoissa hankkeissa tiedostoformaatti valitaan pistepilven koon, käsittelyohjelman sekä käyttötarkoituksen mukaan.

Kuva 3. Pistepilvi ladattuna Vertex BD- alustalle



4.2 Pistepilven harvennus, hajapisteiden poisto sekä kolmioverkon luominen

Leica blk360- laserkeilaimen mittatarkkuus on 3,0 mm (10 mm etäisyydellä mittalaitteesta). Kohteen suunnittelun toleranssien ja ohjelmiston käsittelykapasiteetti huomioiden tarkkuudeksi riittää 50 % resoluutio alkuperäisestä pistemäärästä. Tällöin mittatarkkuus laskee 6,0 mm. Harvennus laskee pistepilven pisteiden määrää 10133888 pisteestä 5066944 pisteeseen. Tämä helpottaa mallin jalostusta sekä käsittelyä.

Laserkeilausvaiheessa mallinnettavasta kohteesta voi syntyä hajapisteitä esim. rakenteissa olevien aukkojen, kuten ikkunoiden läpäisevistä mittauksista. Hajapisteitä voidaan poistaa heti keilausvaiheen jälkeisessä mallin tarkastelussa. Mallin tarkastelu tehdään monesti mobiililaitteella, jolla mallin tarkempi tutkailu ja käsittely on hankalaa verrattuna tietokoneella tehtävään työskentelyyn. BD:ssä hajapisteiden poistoon voidaan käyttää neljää eri työkalua. Kahdessa ensimmäisessä työkalussa mallista rajataan kaksiulotteinen pinta, josta voidaan poistaa pisteet joko sisäpuolelta tai ulkopuolelta. Näillä työkaluilla tehdessä kolmannen ulottuvuuden määrittäminen ei ole mahdollista. Kahdessa muussa työkalussa rajausta tehdään kolmiulotteisen laatikon sisään. Tällä työkalulla voidaan määrittää kolmannen ulottuvuuden etäisyys. Rajaavan laatikon muodostuksen jälkeen valitaan, että poistetaanko pisteet laatikon sisä- vai ulkopuolelta. Pisteiden poistamisen jälkeen niiden palauttaminen ei ole mahdollista suoralla komennolla.

Pistepilven harvennuksen sekä hajapisteiden poistamisen jälkeen voidaan suorittaa kolmioverkon luominen pistepilviverkkoon. Kolmioverkkojen luonnilla pistepilveen voidaan luoda sileitä, kiinteitä pintoja, joita vaaditaan mallin määrittämiseen. Kolmiverkko muodostuu kolmesta eri komponentista. Solmuista (vertex) eli kolmion kulmien liitokohdista, reunoista (edges) eli kolmion sivuista sekä pinnoista (faces), jotka luovat kolmiosta ehjän konkreettisen tason. BD käyttää verkon luomisessa taso-optimointia eli tekniikkaa, jossa verkon kolmiot voivat olla eri kokoisia mallin epätasaisuuden mukaan. Tasaisessa pinnassa kolmiot ovat pinta-alaltaan isompia ja epätasaisilla pinnoilla pienempiä. Kolmioverkon voi luoda myös tasakokoisilla kolmioilla, jolloin kolmioiden koko pysyy samana pinnan tasaisuudesta riippumatta. BD:ssä kolmioverkko luodaan luopintaverkko-työkalulla. Työkalun avautuessa valikosta valitaan kolmioitava pistepilvi. Pistepilven valinnan jälkeen määritetään pintaverkon taajuus sekä kolmioiden minimikoko. Kolmioiden harvennusväliksi asetetaan harvennettua mittatoleranssia vastaava luku 6,0 mm. Kolmioiden haun säteeksi asetetaan 30 mm. Tämä määrittää kolmion lyhimmän sivun mitan. Näitä lukuja muuttamaan pistepilven tarkkuus saadaan optimoituja käyttötarkoituksen mukaiseksi.

4.3 Seinä- ja tasopintojen määrittäminen

Itse rakennemallin mitoittaminen lähtee eri vaaka- ja pystytasojen määrittämisestä. Tasojen määrittämisellä rakenteista saadaan yhden kolmioverkkojen muodostaman ison pinnan suuntaisia tasoja. Tässä mallissa työn sujuvuuden kannalta pystypintojen eli hormien ja seinäpintojen määrittäminen suoritettiin ensimmäisenä. Näiden jälkeen määritettiin lattia- ja välipohjan pinnat. Pintojen muodostaminen tapahtuu Lisää taso-työkalua käyttäen. Tasopinnan määrittämisessä halutusta pinnasta valitaan useampi pintataso, joidenka mukaan BD yhdistää ja laskee näitä yhdistävät ulottuvuudet yhdeksi pinnaksi. Pinnan luominen tapahtuu Vertex G4-ohjelmistosta tutulla pursotustoiminnolla. Tässä toiminnossa taso lisätään pursotustekniikalla, jossa levyn koko määritetään manuaalisesti venyttämällä tai mittatiedoilla kahden paikallisen määritetyn pinnan koordinaattiakselin mukaan. Kolmas ulottuvuus, joka tässä tapauksessa määrittää pursotuksen vahvuuden eli tason vahvuuden, määritetään antamalla kenttään haluttu luku. Keilauksen ja pintojen määrittäminen toteutettiin tässä hankkeessa sisäpuolelta eli pursotuksen nollakohta on seinän sisäpinnan taso. Pursotuksen vahvuudeksi asetettiin +10mm eli 10mm ulospäin. Pursotuksen vahvuudella ei ole lopputuloksen kannalta isoa merkitystä, koska Seinien mallinnusvaiheessa piirtolinja menee seinän sisäpinnan mukaan. Vaakapintojen risteyskohdissa, kuten kohteen nurkissa tasot voidaan viedä ristikkäin ja niiden

risteykskohtaa käytetään seinien nurkkapisteinä. Vaakataso, kuten lattiat ja välipohja mallinnettiin samalla pursotustekniikalla. Yläpohjan määrittäminen suoraan pistepilvimallista nykyisten rakenteiden paikallaan ollessa osoittautua mahdottomaksi. Yläpohjan mallinnukseen ja mitoitukseen liittyviä haasteita käydään läpi luvussa 6.7.

Kuva 4. Pintojen määrittys pistepilvimalliin



4.4 Seinien mallinnus

Seinien mallinnus aloitetaan valitsemalla kohteen seinämateriaalia vastaava seinätyyppi kirjastosta. Seinätyypin ollessa hirsiseinä, valitaan valintapalkista seinä>Hirsiseinäkirjasto>Parametrinen hirsiseinä. BD ei tunne käsitettä käsin veistetty hirsiseinä, joten hirsikirjastosta valittiin höylähirsi. tehtyjen mittausten perusteella hirsimalliksi valikoitui HH 165x192, joka vastaa mitoiltaan rakennuksen keskimääräistä hirsikokoa. BD:llä ei voi määrittää mutkaisia eikä vinoja seiniä. Ohjelma olettaa seinän nousevan aina suoraan koordinaatiston Z-akselin mukaisesti. Tästä johtuen ennen seinälinjan piirtämistä tulee määrittää seinän uloin kohta rakennuksen sisäpuolelta katsoen. Määrittäminen voidaan toteuttaa luomalla pistepilvessä olevan halutun seinän kokoinen pinta, joka määritellään suoraan Z-akselin suuntaisesti. Pinnan mallinnuksen jälkeen aletaan siirtämään levyä siirrä- komennolla poikittain seinälinjan paikallisen koordinaatiston mukaisesti sisältä ulospäin. Pinta siirretään siten, että pistepilven ensimmäiset pisteet tulevat näkyviin pinnan sisäpuolelta. Tällöin saadaan seinän sisin kohta määriteltyä. Tämän määrittäminen on tärkeää toteutusvaiheessa tehtävien koolausten ja oikomisten kannalta.

Seinänlinjan sijainnin määrittämisen jälkeen voidaan luodun pinnan mukaisesti piirtää apuviiva seinän piirtoa varten.

Rakenneavauksen perusteella todettiin, että kohteen ulkoseinien sisäpinta on vuorattu kauttaaltaan 12 mm vahvuisella huokoisella tuulensuojalevyllä. Laserkeilain luo pistepilven pintatietojen mukaan. Tässä tapauksessa rakennemallin luonnin kannalta tärkeä seinärungon sijainti on pistepilvipintaa 12 mm ulompana. Seinärungon sijaintia siirretään offset toimintoa käyttäen 12 mm ulospäin, jolloin päästään tavoiteltuun runkolinjaan.

Pistepilvestä mittaamalla huonekorkeuden minimiarvoksi määritettiin 2798 mm. Seinän korkeus määritettiin tämän arvon mukaisesti. Seinän korkeutta ei voitu määrittää suoraan pistepilvestä. Korkeuden määrittämiseen tarvittiin seuraavat tiedot: Alapohjan vahvuus (sokkelin päältä->lattiatasoon), pistepilvestä mitattu huonekorkeus sekä yläpohjan vahvuus (1.krs sisäkaton alapinnasta-> Kattovasa-seinä liitoskohtaan). Näiden arvojen mittaus ja yhteenlasku suoritettiin manuaalisesti. Seinän korkeus määräytyi seuraavanlaisesti:
Alapohjarakenne 570mm+Huonekorkeus 2798 mm+Yläpohjarakenne kokonaisuudessaan 1140 mm = 4508 mm

Seinän korkeus sekä alareunan korkeusasema syötetään rakennekirjastosta valittavan hirsiseinämallin lähtötietoihin. Tässä tapauksessa kohteen lattianpinta asetettiin Korkeustasojen määrittämisessä +0,00-korkoon. Seinän alareunan lähtökorko asetettiin arvoon -570 mm, jolloin alapohjarakenteet asettuvat seinään ja sokkeliin nähden halutunlaisesti.

Kohteessa olevan kylmäeteisen runko oli toteutettu 50x150 mm sahatulla puutavaralla pystyrunkoisena seinänä. Rakennekirjastosta käytettiin lähimpänä todellista mittaa olevaa 48x148mm runkovahvuutta. Runkotolppien määrää eikä sijaintia pystytty määrittämään ilman rakenteiden avausta. Eteisen seinissä käytettiin samaa korkoasemaa sekä offset-asetuksia, kuin hirsiseinissäkin.

4.5 Perustusten sekä alapohjan mallinnus

Kohde on alun perin perustettu luonnonkivistä kasattujen kivipilarien päälle. Talon ympärille on valettu sokkelia muistuttava noin 600mm korkea ja 200mm vahva seinä myöhemmässä vaiheessa. Kohteessa ei ole varsinaista anturua.

Perustusten mallintamiseen käytetään BD:n seinäkirjastosta löytyvää perustuskirjastoa. Täältä valittiin parametrinen perustus, johon voidaan määrittää itse tarvittavat tiedot. Sokkeliksi valittiin 600mm korkea ja 200mm vahva betoninen seinä ilman anturarakenteita. Sokkeliseinän yläreunan korkeudeksi asetettiin -570mm, jolloin hirsiseinä nousee sokkelin päällä saumattomasti. Sokkelin sijainnin määrittäminen suhteessa seinärunkoon täytyi suorittaa manuaalisesti mittaamalla. Sokkelin reunaa ylittää seinärungon keskimäärin 45mm. Ennen sokkelin piirtoa piirrettiin viiva offset-arvolla 45mm seinäpinnasta ulospäin.

Alapohja uusitaan runkoineen koko kohteeseen. Rungoksi valikoitu ristikkäin koolattu 198mm+148mm 600 k/k jaolla. Runkojen välituennassa hyödynnetään vanhoja kivien päällä lepääviä kannatinhirsiiä. Rakennemallissa ei oteta kantaa pintamateriaaleihin. Tässä kohteessa lattiat oli tarkoitus tehdä perinteiseen tyyliin lattiaponttilaudalla. Suomessa yleisesti käytössä olevaa 28x145mm ponttilautaa käytetään tässä tapauksessa korkeusaseman määrittämisessä. Korkeusaseman 0,00 sijaitsee ponttilaudan yläpinnassa, joten runkomallinnuksessa korko asetettiin arvoon -28mm, jolloin korko saadaan yhteensopivaksi muiden mittojen kanssa. Kohteen märkätilojen lattia ovat toteutettu maanvaraisella teräsbetonilaatalla. Betonilaatta on valettu suoraan betonisokkelilla ympäröidyn hiekka-arkun päälle. Märkätilojen lattiarakenteeseen suoritetaan massanvaihto sekä eristeiden lisäys. Uuden lattian pintamateriaalien vahvuudeksi määritetään 15mm ja korkeuseroksi kuivien tilojen lattiaan 20mm. Valupinnan ylimmän pinnan mallinnuksen korkeustasoksi määritettiin -7mm.

4.6 Välipohjan sekä yläpohjan mallinnus

Välipohjan rakenteen tarkkaan määrittämiseen olisi vaadittu laajat rakenneavaukset. Pistepilvimallista mittaamalla pystyttiin määrittämään välipohjarakenteen kokonaisvahvuus 1.krs katon alapinnan sekä 2.krs lattianpinnan välinen korkeusero, joka oli 430mm. Välipohjarakenne toteutettiin mallissa 360mm k/k 400mm kertopuupalkistolla. Tällä päästään pinta- ja koolausrakenteineen lähelle mitattua rakennevahvuutta. Välipohjan rakenne selviää lopullisesti vasta työn toteuttamisvaiheessa.

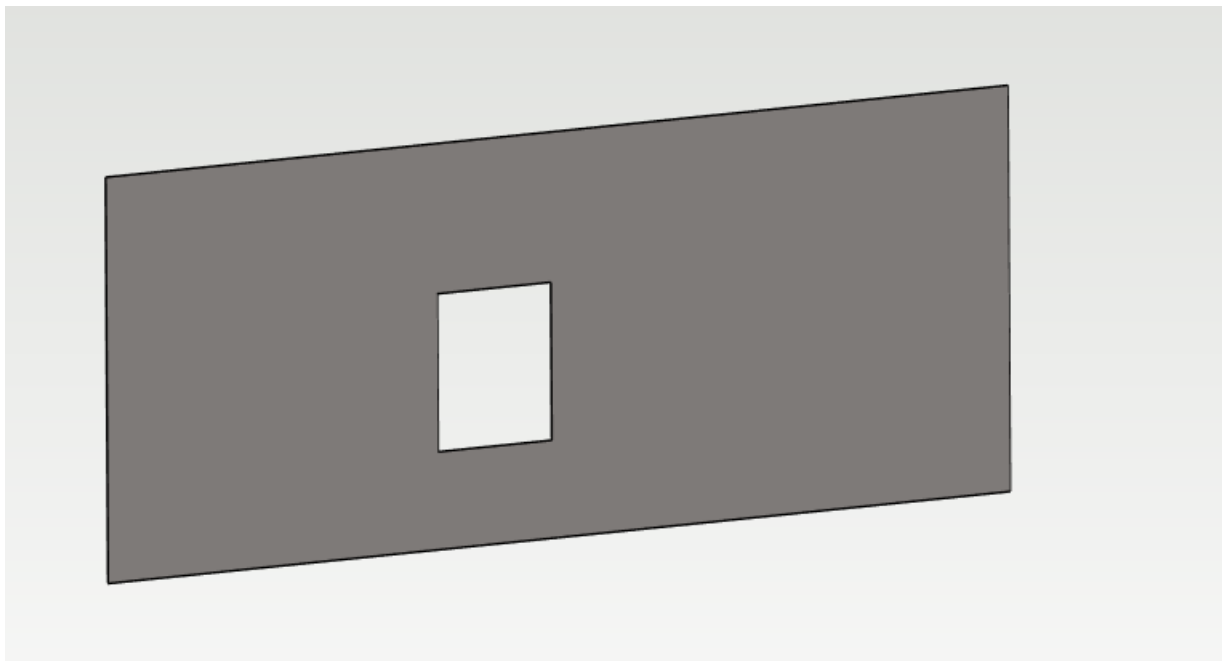
Kohteen 2.krs on rakennettuväliseinien ja sisäkaton osalta jälkikäteen. Kerroksessa olevat seinärakenteet ovat ei-kantavia rakenteita eikä niitä huomioida tässä suunnittelutyössä. Yläpohjan mitoittaminen ei onnistunut suoraan pistepilvimallista ei kantavista rakenteista johtuen. Yläpohjan kattokulman määrittäminen toteutettiin linjalautaa ja digitaalivatupassia apuna käyttäen. Kattokulmaksi saatiin 21,4 astetta eli noin 1:2,5 kattokaltevuus.

Yläpohjarakenne on toteutettu 1200mm jaolla olevilla 70x150mm kattovasoilla ja tuettu kahdella pitkittäin talon suuntaisesti olevan pukkilinjan avulla. Pukkirungon rakennetta päästiin määrittämään vain näkyvissä olevien pystypilarien osalta.

4.7 Aukkojen määrittäminen

Rakennemallin aukkojen, kuten ovien ja ikkunoiden määrittämiseen hyödynnettiin aiemmin tehtyjä pistepilvimallin mukaan tehtyjä pistepilven pintoihin muodostettuja levyjä. Ikkunoiden sijainnin ja koon määrittämistä varten pinta siirretään seinälinjaan nähden poikkisuunnassa pistepilven muodostaman seinän sisään. Aukko luodaan koverrustyökalulla, jossa levyyn piirretään pistepilvessä näkyvän ikkuna-aukon äärilinjat. Tämän jälkeen koverrustoimintoon annetaan syvyysarvoksi 10mm, jolloin pintalevyyn tulee levyn läpäisevä linjaviivojen mukaan määritetty aukko. Tämän jälkeen pinta siirretään kiinni jo mallinnettuun seinään, jossa ikkuna-aukko voidaan mitoittaa sekä sijainti määrittää. Tällä tekniikalla voidaan määrittää kaikki rakennuksessa olevat ikkuna -ja oviaukot.

Kuva 5. Pintaan määritetty ikkuna-aukko



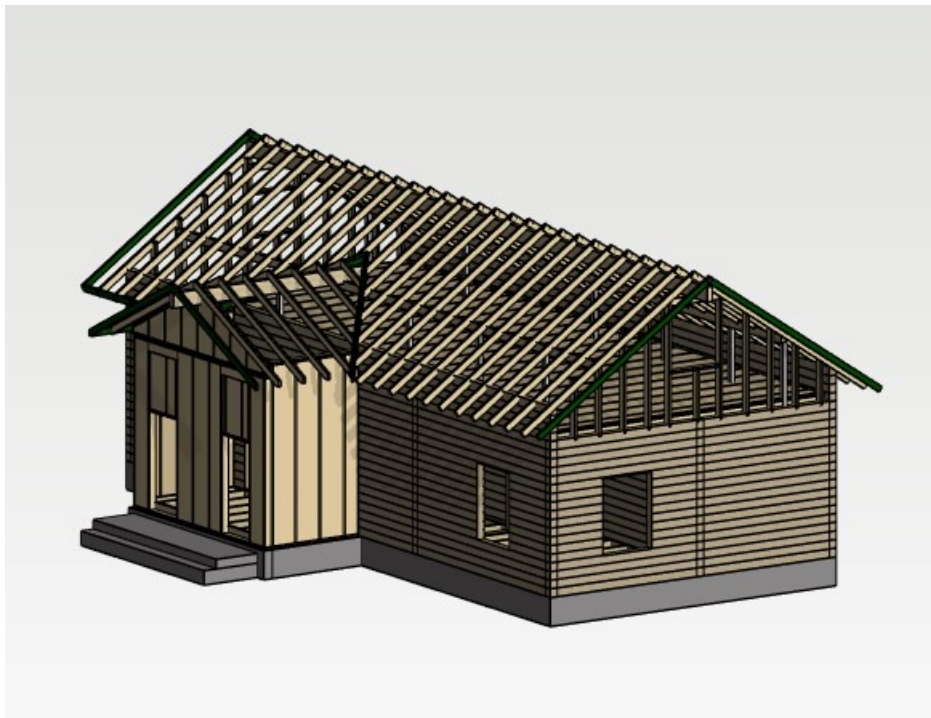
4.8 Rakennemallin viimeistely

Rakennemallin viimeistelyvaiheessa malliin lisätään kattovasoja kannattelevat palkistot, lattiarakenteita kannattelevat pohjahirret sekä muuratut hormit ja seinät.

Luvussa 6.7 kerrotaan yläpohjarakennetta kannattelevien palkkien sijainnin ja koon määrittäminen ei onnistu pistepilvimallia käyttäen. Kohteessa yläkerroksen räystään mukaiset sivut ovat kylmävarasto. Kylmävaraston puolelta pääsi manuaalisesti mittaamaan kattorakennetta kannattelevien pilarien sijainnin sekä koon. Mittaamalla saatujen tietojen perusteella palkit päästään lisäämään rakennemalliin komponentti toimintona apuna käyttäen.

Lattiarakenteita kannattelevat hirret on asennettu talon harjan suuntaisesti kolmeen tasajoin olevaan riviin lattiavasojen alapuolelle. Hirret ottavat kannon maata vasten olevien luonnonkivien päältä, joita on asennettu c/c 2000 mm jaolle. Hirsien sijaintien ja koon määrittäminen tapahtui ryömintätilan kulkuluukusta havainnoimalla. Hormien ja muurien sijainnit pystyttiin määrittämään pistepilvimallista seinän määrittämistä vastaavilla toimilla. Hormit ja muurit ovat paikan päällä muurattuja punatiilisiä rakenteita. Näihin rakenteisiin ei kohdistu rakenteellisia muutostoimia hankkeen aikana.

Kuva 6. Valmis rakennemalli



5 Päätelmät ja yhteenveto

Tässä opinnäytetyössä tutkittiin Vertex BD -suunnitteluohjelmiston soveltuvuutta ja käytettävyyttä korjausrakennushankkeiden suunnittelussa hyödyntämällä laserkeilausteknologiaa. Case-kohteena toimi 1880-luvulla rakennettu, pelkkahirsirunkoinen kaksikerroksinen pientalo, johon suunniteltiin laajamittainen peruskorjaus nykyaikaiseksi ja energiatehokkaaksi asuinrakennukseksi. Laserkeilausteknologia mahdollisti rakennuksen tarkan 3D-dokumentoinnin, joka puolestaan loi pohjan Vertex BD -ohjelmistolla toteutetulle kolmiulotteiselle suunnitteluprosessille.

5.1 Hyödyt ja mahdollisuudet

Laserkeilausteknologian tuottama pistepilviaineisto osoittautui erittäin tarkaksi ja yksityiskohtaiseksi lähtökohdaksi suunnittelulle. Verrattuna perinteisiin mittausmenetelmiin, laserkeilaus vähensi merkittävästi mittausvirheitä ja manuaalista mittaustyötä. Tämä paransi suunnitteluprosessin laatua ja loi tarkemmat edellytykset rakenteiden mallintamiselle Vertex BD -ympäristössä.

Vertex BD mahdollisti pistepilviaineiston hyödyntämisen kolmiulotteisessa suunnittelussa, mikä paransi projektin visualisointia ja suunnitelmien tarkkuutta. Ohjelmisto tuki myös rakennemallien yksityiskohtaista dokumentointia, kuten leikkaus- ja detaljipiirustusten tuottamista, mikä nopeutti suunnitteluprosessia ja paransi sen laatua.

Laserkeilauksen ja Vertex BD:n yhdistäminen osoitti erityistä potentiaalia korjausrakentamishankkeissa, joissa alkuperäisiä piirustuksia ei ole saatavilla tai rakennuksen geometria on monimutkainen. Tarkka 3D-mallinnus mahdollisti myös sen, että rakenteelliset ongelmat voidaan tunnistaa varhaisessa vaiheessa, mikä pienentää riskiä kustannuksiltaan kalliille työmaavaiheen muutoksille.

5.2 Haasteet ja rajoitteet

Vaikka laserkeilausteknologia toi suunnitteluun tarkkuutta, sen hyödyntäminen toi mukanaan myös merkittäviä haasteita. Pistepilviaineiston käsittely vaatii suurta laskentatehoa ja tallennustilaa, mikä aiheutti hitautta suunnitteluprosessiin. Leica Cyclone Register 360 -ohjelmistolla suoritettava pistepilvien rekisteröinti ja harvennus olivat työvaiheita, jotka vaativat huomattavan määrän manuaalista työtä ja teknistä osaamista.

Vertex BD -ohjelmiston puutteet tulivat esiin erityisesti epäsäännöllisten, kaarevien ja vinojen rakenteiden kohdalla. Ohjelmisto ei suoraan tue käsin veistettyjen hirsiseinien eikä muiden vanhojen rakenteiden mallintamista, vaan seinät oletetaan suoriksi ja tasaisiksi. Tämä edellytti manuaalista korjausta ja mittaustiedon tarkentamista, mikä lisäsi suunnittelutyön määrää ja altisti prosessin virheille. Lisäksi mallinnusvaiheessa kohtasimme rajoitteita yläpohjarakenteiden tarkassa määrittämisessä, sillä pistepilviaineistosta ei saatu riittävää tietoa katon yksityiskohdista.

Merkittävä haaste oli myös ohjelmistojen yhteensopivuus. Pistepilviaineisto siirrettiin Vertex BD:hen E57-formaatissa, joka osoittautui parhaiten yhteensopivaksi, mutta siitä huolimatta aineiston puhdistaminen ja integrointi vaativat manuaalista hienosäätöä. Tämä nosti suunnittelutyön työmäärää.

Yksittäisistä työvaiheista selkeästi suuritöisin oli ikkunoiden sijainnin ja koon määrittäminen. Luvussa 6.7 mainittu tekniikka osoittautui monen eri variaation jälkeen tehokkaammaksi. Ikkunoiden- ja aukkojen tarkkojen mittatietojen luominen olisi vaatinut rakenteiden avaamista.

5.3 Kehitysehdotukset

Korjausrakentamisen suunnittelutyö on tärkeä osa suunnittelualaa. Työvoimakustannusten johdosta rakennusten kustannustehokas korjaustoimenpide vaatii tarkat ja laadukkaat suunnitelmat. Hyvin toteutetulla suunnittelutyöllä päästään laadukkaaseen ja tarkasti mietittyyn lopputulokseen. Tässä työssä isoimmaksi haasteeksi osoittautui ikkunoiden sijainnin määrittäminen sekä kaarevien seinien mallintaminen.

Ikkunoiden sijainnin ja koon määrittämiseen olisi hyvä luoda sijaintitiedot, jos pistepilven skannausvaiheessa. Ikkunoiden kulmien sijainnit voisi määrittää esimerkiksi Target-pisteitä apuna käyttäen.

Kaarevien seinien tarkka ja todenmukainen määrittäminen on tärkeää mitoitustietojen kannalta. Kaarevien seinien mallinnukseen olisi hyvä olla työkalu, jolla voisi määrittää seinäpinnat useamman pisteen kautta. Pisteiden taajuus voisi olla 50 mm – 1000 mm taajuudella.

5.4 Johtopäätökset

Tämän työn perusteella voidaan todeta, että laserkeilauksen ja Vertex BD - suunnitteluohjelmiston yhdistäminen tarjoaa merkittäviä etuja erityisesti korjausrakennushankkeissa, joissa rakenteiden tarkka dokumentointi on kriittistä. Teknologian tuoma mittatarkkuus vähentää virheitä ja parantaa suunnittelun laatua, mutta sen täysi hyödyntäminen vaatii kehittyneitä ohjelmistoratkaisuja ja manuaalisen työn vähentämistä.

Teknologian kustannustehokkuus on parhaimmillaan suurissa ja monimutkaisissa projekteissa, mutta pienemmissä hankkeissa korkeat laitteisto- ja ohjelmistokustannukset saattavat muodostua esteeksi. Tämän vuoksi jatkokehitystä tulisi kohdentaa erityisesti pistepilviaineiston automaattiseen tulkintaan ja suunnittelun automatisointiin, jotta teknologia voisi olla laajemmin hyödynnettävissä.

6 Lähteet

RT 18-10922 (2008) *Kiinteistön tekniset käyttöiät ja kunnossapitajaksof*. Rakennustieto Oy.

<https://www.rakennustieto.fi/kortistot/rt-kortisto.html>

Valtioneuvoston asetus jätevesien käsittelystä viemäriverkoston ulkopuolisilla alueilla 157/2017. Haettu 19.3.2025 osoitteesta

<https://www.finlex.fi/fi/laki/alkup/2017/20170157>

Maankäyttö- ja rakennuslaki 132/1999. Haettu 13.3.2025 osoitteesta

<https://www.finlex.fi/fi/laki/ajantasa/1999/19990132>

Vertex Systems. (n.d.-a). *Vertex BD – Rakennussuunnitteluohjelma*.

<https://www.vertex.fi/building-design/fi>

Vertex Systems. (n.d.-b). *Vertex Sync – Työskentele missä tahansa. Tee yhteistyöstä helppoa*.

<https://www.vertex.fi/building-design/fi/vertex-sync>

Leica Geosystems. (n.d.). *Leica BLK360 – Kuvaava laserkeilain*.

<https://leica-geosystems.com/products/laser-scanners/scanners/blk360>