



TALLINNA TEHNIKAÜLIKOOL
INSENERITEADUSKOND
Ehituse ja arhitektuuri instituut

**VERTIKAALSETE TASAPINDADE
KONSTRUEERIMINE 3D PUNKTIILVEST KAHE
TARKVARA NÄITEL**

**MODELLING OF VERTICAL PLANE ELEMENTS
FROM 3D POINT CLOUD IN DIFFERENT
SOFTWARE**

MAGISTRITÖÖ

Üliõpilane: Jevgenia Lobina

Üliõpilaskood: 165146EATI

Juhendaja: Prof Artu Ellmann

Kaasjuhendaja: Kaia Kütimets

Tallinn 2022

AUTORIDEKLARATSIOON

Olen koostanud lõputöö iseseisvalt.

Lõputöö alusel ei ole varem kutse- või teaduskraadi või inseneridiplomit taotletud.

Kõik töö koostamisel kasutatud teiste autorite tööd, olulised seisukohad,

kirjandusallikatest ja mujalt pärinevad andmed on viidatud.

"....." 20.....

Autor:

/ allkiri /

Töö vastab magistritööle esitatud nõuetele

"....." 20.....

Juhendajad:

/ allkiri /

Kaitsmisele lubatud

"....."20... .

Kaitsmiskomisjoni esimees

/ nimi ja allkiri /

Lihtlitsents lõputöö reprodutseerimiseks ja lõputöö üldsusele kättesaadavaks tegemiseks¹

Mina Jevgenia Lobina (*autori nimi*) (sünnikuupäev: 20.01.1997)

1. Annan Tallinna Tehnikaülikoolile tasuta loa (lihtlitsentsi) enda loodud teose
VERTIKAALSETE TASAPINDADE KONSTRUEERIMINE 3D PUNKTIILVEST KAHE
TARKVARA NÄITEL

(*lõputöö pealkiri*)

mille juhendaja on Artu Ellmann, Kaia Kütimets ,

(*juhendaja nimi*)

1.1 reprodutseerimiseks lõputöö säilitamise ja elektroonse avaldamise eesmärgil, sh Tallinna Tehnikaülikooli raamatukogu digikogusse lisamise eesmärgil kuni autoriõiguse kehtivuse tähtaja lõppemiseni;

1.2 üldsusele kättesaadavaks tegemiseks Tallinna Tehnikaülikooli veebikeskkonna kaudu, sealhulgas Tallinna Tehnikaülikooli raamatukogu digikogu kaudu kuni autoriõiguse kehtivuse tähtaja lõppemiseni.

2. Olen teadlik, et käesoleva lihtlitsentsi punktis 1 nimetatud õigused jäävad alles ka autorile.

3. Kinnitan, et lihtlitsentsi andmisega ei rikuta teiste isikute intellektuaalomandi ega isikuandmete kaitse seadusest ning muudest õigusaktidest tulenevaid õigusi.

¹Lihtlitsents ei kehti juurdepääsupiirangu kehtivuse ajal, välja arvatud ülikooli õigus lõputööd reprodutseerida üksnes säilitamise eesmärgil.

_____ (*allkiri*)

_____ (*kuupäev*)

Ehituse ja arhitektuuri instituut

LÕPUTÖÖ ÜLESANNE

Üliõpilane: Jevgenia Iobina, 165146 (nimi, üliõpilaskood)
Õppekava, peeriala: EATI, ehitusgeodeesia (kood ja nimetus)
Juhendaja : Prof Artu Ellmann, 620 2603 (amet, nimi, telefon)
Juhendaja: Kaia Kütimets (nimi, telefon)

Lõputöö teema:

(eesti keeles) Vertikaalsete tasapindade konstrueerimine 3D punktipilvest kahe tarkvara näitel

(inglise keeles) Modelling of vertical plane elements from 3D point cloud on the example of two software

Lõputöö põhieesmärgid:

1. Uurida ja analüüsida olemasolevaid tarkvarasid laserskaneerimisega või muul meetodil saadud punktipilvede töötlemiseks. Kasutamiseks valitakse levinud tarkvarad, millele on tudengil ligipääs. Lisaks on oluline, et tarkvarasid pidevalt uuendatakse ja kasutatakse geodeetide poolt.
2. Sellest valikust hinnata erinevate tarkvarade võimalusi, sealhulgas töötlemisprotsessi automatiseerimise võimalust. Tarkvarade uuringute põhjal saab valida optimaalseimat, mida kasutada käesolevas töös eesmärgi saavutamiseks.
3. Leida optimaalne tarkvara vertikaalsete tasapindade automaatseks konstrueerimiseks 3D punktipilvest. Põhiline eesmärk seisneb tarkvara poolt tehtavas automaatses analüüsimises ja vertikaalsetesse tasapindadesse kuuluvate punktide identifitseerimises.

Lõputöö etapid ja ajakava:

Nr	Ülesande kirjeldus	Tähtaeg
1.	Lähteandmete kogumine ja esmane andmetöötlus	01.03.2022
2.	Analüüs ja esmaste tulemuste kirjeldamine	01.04.2022
3.	Töö tervikmustandi esitamine	01.05.2022

Töö keel: eesti keel

Lõputöö esitamise tähtaeg: ".....".....2022.a

Üliõpilane: Jevgenia Lobina ".....".....2022.a
/allkiri/

Juhendaja: Artu Ellmann ".....".....2022.a
/allkiri/

Juhendaja: Kaia Kütimets ".....".....2022.a

/allkiri/

Konsultant: ".....".....2022.a

/allkiri/

Programmijuht: ".....".....2022.a

/allkiri/

Kinnise kaitsmise ja/või lõputöö avalikustamise piirangu tingimused formuleeritakse pöördel

SISUKORD

1.	SISSEJUHATUS.....	8
2.	TASAPINDADE KONSTRUEERIMINE - TEOOREETILINE OSA	11
2.1	Punktipilvede moodustamine	11
2.2	Varasemad uuringud	14
2.3	Laseskaneerimise andmetöötlustarkvarad	22
2.3.1	Leica Cyclone (Leica Geosystems)	29
2.3.2	VisionLidar (Geo-Plus).....	31
2.2.	Valitud programmide hinnang.....	33
3.	TÖÖTLEMINE PUNKTIPIILVEGA VALITUD TARKVARADES	34
3.1	Uurimisala kirjeldus.....	35
4.	VERTIKAALSETE TASAPINDADE KONSTRUEERIMINE 3D-PUNKTIPIILVEST KAHES TARKVARAS	38
4.1	Leica Cyclone	38
4.2	Vision Lidar	50
4.3	Saadud tulemuste analüüs	60
	KOKKUVÕTE	69
	SUMMARY.....	71
	KASUTATUD KIRJANDUSE LOETELU	73
	LISAD – TEISED VÕIMALIKUD MODELLEERIMISTARKVARAD	77
1	Revit	77
2	3DF Zephyr	81
3	PointCab.....	85
4	ReCap	89
5	RiSCAN PRO	92
6	Pointly (Supper & Supper GmbH).....	93
7	Reconstructor (Gexcel)	94
8	Trimble RealWorks (Trimble)	96
9	Undet (Undet)	97

Lühendite ja tähiste loetelu

3D – kolmemõõtmeline

2D – kahemõõtmeline

ASCII - American Standard Code for Information Interchange (Ameerika teabevahetuse standardkood)

BIM – Building Information Modeling (mudelprojekteerimine)

BK77 – Balti 1977. aasta kõrgussüsteem on Eestis kuni 31. detsembrini 2017 kehtiv kõrgussüsteem

CAD – Computer aided design (raalprojekteerimine)

GNSS – Global Navigation Satellite System (globaalne satelliitnavigatsioonisüsteem)

HTML – HyperText Markup Language (Hüpertexti märgituskeel)

ICP – Iterative closest point (iteratiivne lähim punkt)

IFC - Industry Foundation Class (tööstuse Sihtasutuse klass)

L-EST – Tasapinnaline ristkoordinaatide süsteem

NURBS - Non-uniform rational B-spline (ebaühtlane ratsionaalne B-spline - tasapind)

NURBS-pinnad - *Non-uniform rational B-spline* (kahe parameetri funktsioonid, mis kaardistatakse pinnaga kolmemõõtmelises ruumis)

SLAM – Simultaneous localization and mapping (samaaegne asukohamääramise ja kaardistamise algoritm)

XML – Extensible Markup Language (üldotstarbeline märgistuskeel, kasutatakse veebirakendustes)

1. SISSEJUHATUS

Viimastel aastakümnetel on maapealse laserskaneerimise tehnoloogia leidnud üha suuremat rakendust. Paljud tänapäevased projekteerimise ja ehitamise, hoonete ja rajatiste hooldamise ülesanded nõuavad ruumiandmete esitamist, mis kirjeldavad täpselt ja täielikult hoone osade ja rajatiste geomeetria ja seisukorda. Geodeesia jaoks traditsiooniliste meetodite ja tööriistade kasutamine (nivelliirid, tahhümeetrid) võimaldab lahendada suurema osa ülesannetest, kuid piirangud on seotud raskete nähtavustingimustega ja elektrontahhümeetrite abil saadud andmete kogumise aeglusega.

Laserskaneerimiseandmete saamine (*edasi laserskaneerimine*) on kiireim ja tõhusaim viis täpse ja täieliku teabe saamiseks ruumiobjekti kohta: arhitektuurimälestis, tööstushoone või tehnoloogilised seadmed.

Lisaks skaneerimisele on ka fotogramm-meetria meetodid niivõrd täiustunud, saadud andmete põhjal on võimalik luua korrektseid ja täpseid punktipilvi. Fotogramm-meetria uurib aerofotogrammeetriliste, mere- ja kosmoseuuringute abil erinevate maa- ja veepindade kohta teavet. See meetod põhineb fotodel, kujutiste füüsilise kuju geomeetria uurimine ja mõõtmine annab sellele teadusliku lähenemise ja praktilise rakenduse taseme.

Tänapäeval on saadaval palju erinevaid süsteeme andmehõiveks punktipilvedena. Ettevõtted pakuvad kasutajatele terviklikke lahendusi maapealsete laserskanneritega (või ka õhus lennutatavate droonidega) mõõdistamiseks. Mitmed ettevõtted pakuvad oma tarkvara ka andmetöötluks, punktipilvede genereerimiseks ja edasiseks töötlemiseks.

Kuid sageli ei võimalda soetatud andmetöötlustarkvara teha geodeedi jaoks kõike vajalikku. Lisaks tehakse paljudes programmides tööd enamasti automatiseerimata, kusjuures manuaalne joonestamine võtab palju aega. Ajakulu on üks olulisemaid tegureid ja tingimusi geodeetide töö tegemisel.

Tänapäeval on insenergeodeetiliste uuringute või ehitus- ja projekteerimistöde teostamise tellijateks valitsusasutused ja eraettevõtted, töötäitjaks valitakse valivad töö lühema aja jooksul ja madalama hinnaga pakkuja. Kui välitöö tehakse suhteliselt sama ajaga, siis kameraaltöö aeg sõltub otseselt kasutatavast tarkvarast ja töötäitjate oskustest.

Viimasel ajal kasutavad keerukate töötusrajatiste projekteerijad üha enam 3D-projekteerimist. Kõrge detailsuse tõttu sisaldab 3D-mudel üsna palju teavet tehnoloogiliste seadmete kuju ja parameetrite kohta. Seetõttu soovivad projekteerijad

tulemuseks saada mitte geodeetilisi teostusjooniseid konstruktsioonelementide üksikute mõõtmega, vaid üksikasjalikke ja lausalisi andmeid 3D-vormingus.

Laserskaneerimise ja fotogramm-meetria tulemuste töötlemiseks on olemas suur hulk tarkvaratooteid, mis võimaldavad kõrglahutusega punktipilvede kiiret ja tõhusat töötlemist. Seetõttu on programmide õige valiku probleemi lahendamine üsnagi aktuaalne.

Antud magistritöö eesmärgid on:

1. Uurida ja analüüsida olemasolevaid tarkvarasid laserskaneerimisega või muul meetodil saadud punktipilvede töötlemiseks. Kasutamiseks valitakse levinud tarkvarad, millele on tudengil ligipääs. Lisaks on oluline, et tarkvarasid pidevalt uuendatakse ja kasutatakse geodeetide poolt.
2. Sellest valikust hinnata erinevate tarkvarade võimalusi, sealhulgas töötlemisprotsessi automatiseerimise võimalust. Tarkvarade uuringute põhjal saab valida optimaalseimat, mida kasutada käesolevas töös eesmärgi saavutamiseks.
3. Leida optimaalne tarkvara vertikaalsete tasapindade automaatseks konstrueerimiseks 3D punktipilvest. Põhiline eesmärk seisneb tarkvara poolt tehtavas automaatses analüüsimises ja vertikaalsetesse tasapindadesse kuuluvate punktide identifitseerimises.

Selles töös kasutatakse uuringuobjektina vertikaalseid pindasid, ent siin ei ole mõeldud maapinna suhtes täpselt risti olevaid tasapindu. Vertikaalse tasapinna mõistet kasutatakse töös kui püstises asendis olevat seinu või mõnda muud sarnast tasapinda.

Teema aktuaalsus seisneb selles, et mõõdistajatel ja projekteerijatel on oluline määratleda olemasolevad hoone tasapinnad, millised on ruumi geomeetrilised parameetrid.

Otsitakse vastused järgmistele küsimustele: kas sein on tasapinna suhtes vertikaalne või ei, kus sein asub ja kas konstrueeritud tasapind sobib edasi töötlemiseks või mitte. Skaneerimisandmetel põhineva kolmemõõtmelise mudeli kasutamine rekonstrueerimisprojekti etapis võib oluliselt vähendada vigade tõenäosust ehitus- ja paigaldustööde etapis.

Katseobjektiks on valitud Tallinna linnas Mustamäe linnaosas Akadeemia tee 5A pereühiselamu, mille laserskaneerimiseks 2016. aastal on kasutatud terrestrilist laserskannerit Leica ScanStation C10.

Magistritöö koosneb neljast peatükist. Esimene peatükk on sissejuhatus, kus antakse selle töö ülevaade. Teise peatüki jaotises esitatakse teoreetiline ülevaade punktipilvedest, kirjeldatakse nende saamise meetodeid. Kolmandas peatükis antakse

ülevaade varasematest uuringutest, sh. antakse üldist teavet programmide poolt vertikaalsete tasapindade konstrueerimise võimaluste kohta. Neljas peatükk kirjeldab valitud kahes tarkvarades tehtud automaatseid töid Akadeemia tee 5A hoone punktipilve näitel magistritöö eesmärgi saavutamiseks. Viimases peatükis antakse ülevaade magistritöö käigus saadud tulemustest, tehtud võrdlustest ja täpsushinnangutest ning kirjeldatakse, kuidas antud tulemusteni jõuti, aga ka vertikaalsete tasapindade konstrueerimise tulemused. Magistritöö lõpetavad autoripoolsed järeldused ning kokkuvõte.

Uurimistöös kasutatud Leica Cyclone tarkvara soetati Eesti teadusfondi grandiga PRG330 „Geoidi iteratiivne modelleerimine rannikualal kaasates satelliitlõimeetriat ning kohapealseid kontroll- ja mudelاندmeid“ vahenditest.

2. TASAPINDADE KONSTRUEERIMINE - TEOOREETILINE OSA

2.1 Punktipilvede moodustamine

Punktipilv on tohutu hulga mõõtmistulemuste kogum, kus andmepunktid on kirjeldatud läbi kolmemõõtmelise (3D) koordinaatide.

Punktipilvede failid aitavad projekteerimise protsessi kiirendada, pakkudes reaalses konteksti objektide digitaalseks konstrueerimiseks. Punktipilve lisamisel joonisele saab punktipilve kasutada joonise orienteerimiseks, rakendada värvide ja tekstuuride sobitamist elementide eristamiseks.

Punktipilvede saamiseks on erinevaid võimalusi. Tahhümeetriline mõõdistus annab hõreda, ainult kontaktset mõõdistatud punktidest koosneva punktikogumi. Tihedama ja täielikuma punktipilve saab mõõdistada näiteks laserskaneerimise abil või fotogramm-meetria teel.

Keeruliste tööstusobjektide uurimisel traditsiooniliste meetodite abil seisavad geodeedid sageli vastamisi asjaoluga, et teatud vajalikud kontaktmõõtmised jäävad välitöödel tegemata. Seevastu laserskaneerimise andmed sisaldavad kõige täielikumad teavet uuritava objekti geomeetria andmete kohta, minimiseerides geodeedi subjektiivsed valikud kontuuripunktide mõõdistamiseks.

Antošina (2015) artiklis selgitakse, et laserskaneerimiseks kasutatakse laserskannereid, mis põhineb laserkiire omadusel peegelduda esemetelt või maa pinnalt. Laserskaneerimine võimaldab võimalikult kiiresti hõivata absoluutselt kõiki reljeefipunkte, et saada isegi raskesti ligipääsetavate objektide kolmemõõtmelise geomeetria kujutis. Laserskanner teisaldab reaalse pinna omaduste kogumi digitaalsesse vormi ja esitab tulemused ruumilises koordinaatsüsteemis. Olles määranud skaneerimisala, milles kaugusmõõtja laserkiir levib suurel kiirusel (kuni miljon punkti sekundis), on võimalik saada huvipakkuva objekti täielik ülevaade. Laserskaneerimis punktide tihedus võib olla vahemikus 0,25 mm kuni 1 m või hõredam. Tulemuseks on punktide massiiv, millel kõigil on ruumikoordinaat (X,Y,Z) ja pseudovärvide teave. Näiteks, laserkannerid on võimalused tegema panoraammõõdistust horisontaalselt 360° täisringina ja vertikaalselt 270°. Lai vaateväli võimaldab vähendada skaneerimisjaamade arvu. [Antošina, 2015]

Terrestrilise laserskanneri kaugusmõõtmise täpsus on keskmiselt 4 mm. Samal ajal on iga mõõdetud punkti asukoha täpsus mööda kolme telge (X,Y,Z) vähemalt 6 mm, kaugus objektist 50 meetrit või vähem. [Antošina, 2015]

Kogu seadme juhtimine toimub sülearvuti abil koos programmide komplektiga või skannerisse sisseehitatud juhtpaneeliga. Skannerilt saadud punktide koordinaadid salvestatakse skanneri mäluseadmesse. [Antošina, 2015]

Skaneerimised toimuvad esemete keerulise kuju tõttu sageli mitmest vaatlusjaamast, kuna kõik pinnad pole lihtsalt ühest vaatluspunktist nähtavad. Lihtsaim näide on hoone välisseinad. Erinevatest jaamadest saadud skaneeringud ühendatakse üksteisega (georefeerimine) spetsiaalses tarkvaramoodulis ühtseks punktipilveks. Välitööde etapis on vaja ette näha kattuvate skaneeringute piirkonnad. Sellisel juhul võib suurema täpsuse saavutamiseks asetada nendesse tsoonidesse enne skaneerimise algust spetsiaalsed tähised. Nende sihtmärkide koordinaatide järgi toimub georefeerimine. Ilma tähisteta georefeerimisel kasutatakse objektile iseloomulike punkte. Laserskaneerimise tulemuseks on 3D mudelid, millel on kõrge detailsusaste, tasapinnalised joonised ja lõigud. [Antošina, 2015]

Lisaks suurele automaatiseerimisastmele on maapealsel laserskaneerimisel ruumiandmete kogumise meetodite osas järgmised eelised:

- Võimekus määrata väliobjekti punktide ruumikoordinaadid;
- Kolmemõõtmeline visualiseerimine reaajas, mis võimaldab määrata ja elimineerida "pimedaid" tsoone välitöö etapis;
- Kõrge mõõtetäpsus;
- Teabe kaugvastuvõtmise põhimõte tagab töötaja turvalisuse raskesti ligipääsetavate ja ohtlike alade mõõdistamisel;
- Maapealse laserskaneerimise kõrge tootlikus vähendab objektide digitaalsete mudelite loomisel välitööde aega, mis muudab selle tehnoloogia võrreldes teistega tasuvamaks;
- Tööd saab teha mis tahes valgustingimustes, see tähendab päeval ja öösel;
- Kõrge detailsuse;
- Laserskaneerimise tulemuste mitme otstarbeline kasutamine. [Antošina, 2015]

Laserskaneerimine on tipptasemel tehnoloogia, millel on sellised eelised nagu välitöödeks kuluva aja märkimisväärne vähenemine, uuringu kõrge kvaliteet ja üksikasjalikkus. Samal ajal on selle tehnoloogia kohaselt tehtud tööde maksumus väga lähedal traditsiooniliste geodeetiliste meetodite maksumusele.

Käesolevas töös kasutatakse punktipilve, mis on saadud laserskaneerimise meetodil. Sarnaseid punktipilvi on võimalik toota ka fotogramm-meetria abil.

Fotogramm-meetria on 3D-mudelite loomise protsess, mis tugineb erinevate ühe nurkade alt pildistatud ühe objekti fotodele. Meetodi lähteandmeteks on aerofotograafia või maapealse fotogramm-meetrilise fotograafia abil saadud fotod. Fotogramm-meetria sisaldab nii aerofotograafia kui maapinna mõõdistamisega saadud fotode töötlemise

ning punktipilvede ja orto-mosaikide saamise funktsionaalsust ning kõiki vajalikke tööriistu punktipilvede töötlemiseks.

Punktipilvede töötlemiseks on loodud palju tarkvarasid, tihtipeale pakub nt laserskanneri tootja ka andmete töötlemiseks spetsiifilise tarkvara.

Punktipilvede suurused ehk punktide arv sõltub kasutatavast tehnoloogiast ja seadmest. Samamoodi on erineval meetodil ja erineva tehnoloogiaga saadud punktipilvede täpsus erinev. Näiteks aerofotod või laserskaneerimine. Erinevate tööde jaoks on vajalikud erinevad täpsused, mistõttu geodeet peab tegema valiku sobiva punktipilve saamiseks. Samas, objektist saadud punktide arv määrab ka saadud punktipilve mahu ja suuremahuliste punktipilvede töötlemine nõuab suuremat arvutiressurssi ning sobivat tarkvara. Erinevate seadmete ja meetodite abil loodavate punktipilvede formaadid võivad olla järgnevad: *.pts*, *rcp*, *las*, *laz*. Formaat *pts* on lihtne tekstifail, mida tavapäraselt kasutatakse laserskannerite abil saadud andmete jaoks. Formaat *rcp* sisaldab mitut punktipilvefaili *.rcs* formaadis. *Las*, *Laz* formaadid on Laszip faili tihendusvorm.

Punktipilvede töötlemisel on erinevaid tulemeid. Üheks variandiks on objekti kolmemõõtmeline kujutis punktide abil, mis on nii visuaaliks kui ka mõningateks mõõtmisteks sobilik. Üldisematel juhtudel koostatakse punktide põhjal pinnad, millest omakorda kolmemõõtmelised objektid. 3D objektid on aluseks ka tänapäeval üha rohkem kasutatavate BIM tehnoloogial põhinevate projektide loomisel.

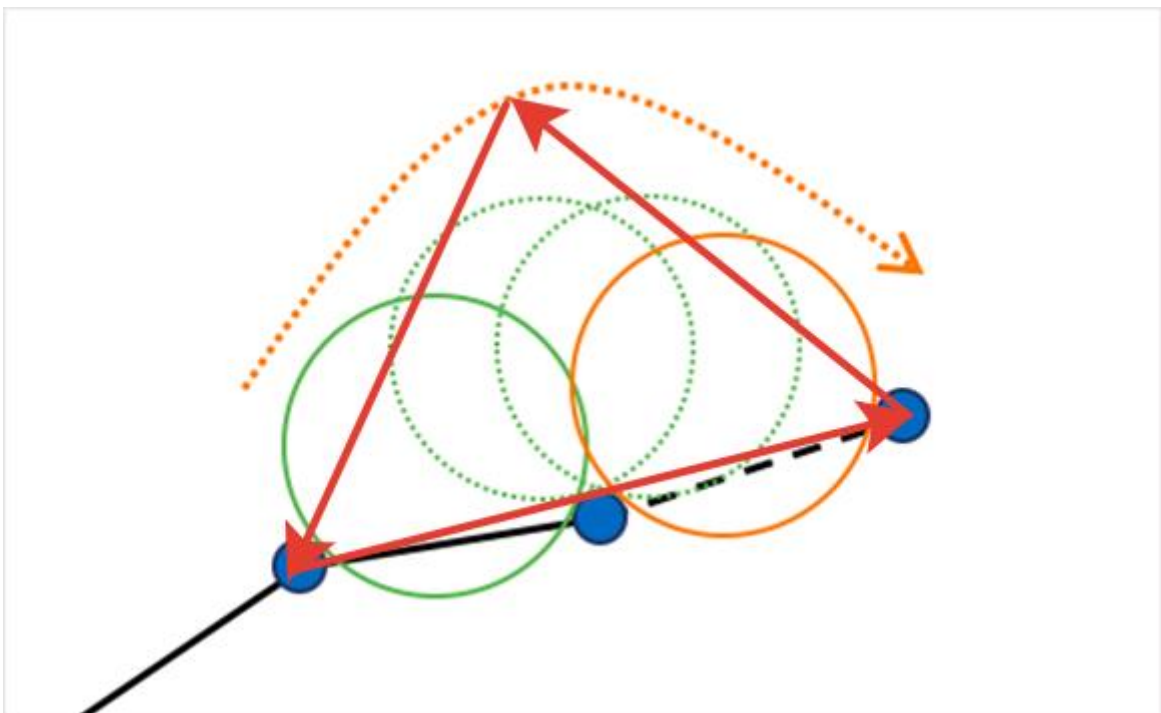
Punktipilvede töötlemise tarkvarade omadusi käsitleb jaotis 3.1.

2.2 Varasemad uuringud

Punktipilvi kasutatakse sageli lähtena 3D-mudelite loomiseks arhitektuurilistes tarkvarades. Mudelite loomine toimub seni peamiselt käsitsi ja nõuab palju aega, mis muudab automaatsed konstrueerimismeetodid väga vajalikuks.

Poux (2020) artiklis selgitatakse et pinna moodustamise tehnoloogia on kergesti arusaadav programmeerimiskeele Python abil. Iga punktipilv koosneb objekti pinna mõõdistus punktidest. Punktid moodustavad teatava võrgustiku. Kujutatakse ette väikest palli, mis veereb punktipilve „pinnal“. Selle palli suurus sõltub võre skaalast, see peaks olema veidi suurem kui keskmine punktide vaheline kaugus. Kui „visatakse“ palli punktide võrgule, püütakse see kinni ja peatatakse kolmes punktis, mis moodustavad kolmnurga. Kolmnurga punktist veereb pall mööda kahest punktist moodustatud kolmnurga serva. Seejärel asetub pall uude asukohta: kahest eelmist punktist moodustatakse uus kolmnurk ja võrku lisatakse üks uus kolmnurk. Kui jätkatakse palli veeretamist ja pööramist, moodustuvad uued kolmnurgad ja lisatakse need võrku. Pall veereb edasi, kuni võrk on täielikult moodustatud. [Poux, 2020]

Palli veeremise skeem on näidatud joonisel 1. Sellel põhimõttel saab pindasid (ka vertikaalseid) saab punktipilvest konstrueerida automaatselt.

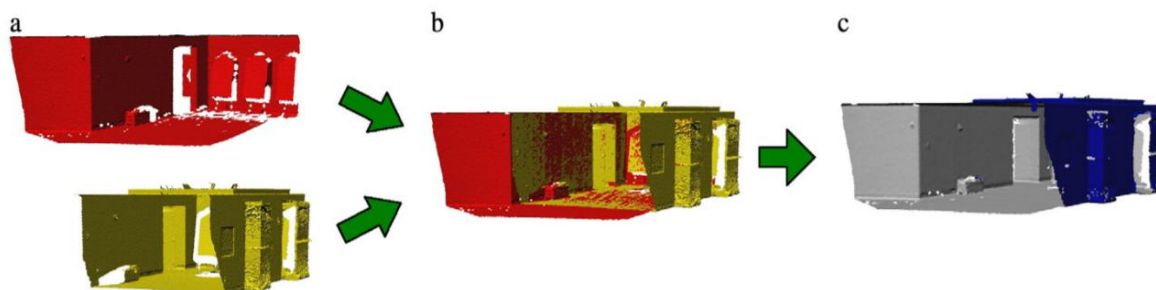


Joonis 1. Palli veeremise trajektoor (rohelisega värviga tähistatud) [modifitseeritud Rapponotti, jt, 2019]. Sinised ringid tähistavad palli asetust samal ajal ühes tasapinnas. Kolm punkti, mis toetavad palli, moodustavad kolmnurga (tähistatud punase noolega), mis muutub võrgu osaks. Sellest kohast saab pall veereda paremale (näidatud oranži katendijoonega).

Tang (2010) artiklis kirjeldatakse objektide automaatse konstrueerimise protsessi BIM (Building Information Modeling) kontekstis. BIM kujutab rajatist semantilisel rikkalikult, erinevalt traditsioonilisest CAD-mudelist. CAD-mudel kujutab seinu kui sõltumatute tasapinnaliste pindade kogumit, aga BIM-mudelis kujutatakse seinu kui ühte ruumilist pinda, samuti seinu ja teiste objektide vaheliste külgnemissuhete abil. BIM kasutatakse näiteks ehitiste rajamise optimeerimiseks, mille puhul vähendades nii ootamatute ja kulukate viivituste võimalust ehitamise protsessis. [Tang, 2010]

Modelleeritud komponendid on märgistatud objektikategooriaga. Standardsed BIM-kategooriad on sein, katus, plaat, tala ja samm. Lisaks saab luua kohandatud objektikategooriaid, individuaalsete projekti vajaduste alusel. Objekte võib täiendada muude metaandmetega, näiteks materjaliomadustega või linkidega spetsifikatsioonidele kohandatud komponentide kohta. Praeguses praktikas on BIMide loomine suures osas manuaalne protsess, mida teostavad teenusepakkujad, kelle ülesandeks on skaneerida ja modelleerida rajatis. Projekti koostamine võib võtta mitu kuud aega sõltuvalt objekti keerukusest ja modelleerimise nõuetest. Kuna BIM on suhteliselt uus kontseptsioon, siis on toetav tarkvara muutustes. [Tang, 2010]

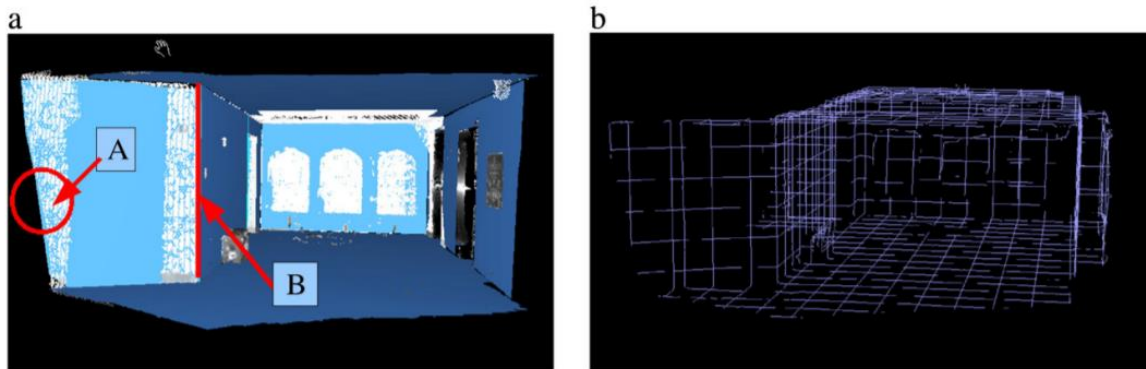
Mudelite käsitsi loomise töövoogu saab illustreeritud lihtsa näite abil. Siinkohal modelleeritakse vertikaalne ruumi osa, kasutades kahest skaneerimispunktist kogutud andmeid (vt joonis 2).



Joonis 2. Modelleerimisprotsess vertikaalsest ruumi osast [Tang, 2010]. On esitatud (a) üksikute vaatepunktide skaneeringud, millest üks on näidatud punasega ja teine kollasega (b), on joondatud ühises koordinaatsüsteemis (c) ja seejärel ühendatud üheks tervikuks kujutiseks, mis sisaldab kõigi skaneeringute andmeid. Reaalsetes rakendustes on rajatise modelleerimiseks vaja kümneid kuni sadu skaneeringuid.

Tang (2010) artiklis kirjeldatakse geomeetrilise modelleerimise puhul kahte peamist lähenemisviisi (vt joonis 3). Esimene lähenemisviis on geomeetriliste primitiivide otsene sobitamine 3D-andmetega (vt joonis 3a). Geomeetrilise modelleerimise tarkvara sisaldab tavalisi tööriistu geomeetriliste primitiivide, näiteks tasapindade, silindrite, kerade, koonuste ja muude geomeetriliste elementide sobitamiseks. Need tööriistad on poolautomaatsed ja nõuavad märkimisväärset kasutaja sisendit. Näiteks tasapinnalise pinna modelleerimiseks võib kasutada mõnda punkti või andmeplokki ja valitud

andemetele sobitatakse tasand. Tasapinnalist plaati võib laiendada, kasutades piirkonna kasvatamise algoritmi, kuivõrd külgnevad andmed jäävad lubatud kaugusele algse pinna piiridesse. Sellel meetodil on võimalik ligikaudsed piirid kindlaks määrata, kuid praktikas võivad need piirid olla ebakorrapärased ja ebatäpsed. Teise geomeetrilise modelleerimise puhul kasutatakse ristlõikeid ja pinna sobitamist (vt joonis 2b). Alustatakse sellest, et horisontaalsed ja vertikaalsed ristlõiked eraldatakse andmetest ja ristlõikudele sobitakse jooned, et saada seinad ja plaadid põhiplaani. Lõpuks, seinad modelleeritakse horisontaalse ristlõike vertikaalse kohandamise abil, mis põhineb vertikaalsete ristlõigete piirangute alusel. See lähenemisviis on vähem arvutusmahukas meetod kui pindade kohandamise meetod, kuid see võib põhjustada vigu, kuna komponendid järgivad nende idealiseeritud kuju, geometriat (näiteks kui sein ei ole tõeliselt vertikaalne). [Tang, 2010]



Joonis 3. Näited meetoditest, kuidas rekonstrueerida kujutis laserskänneri andmetest [Pingbo Tang, 2010]. Piirkond A joonisel 3 toob esile ebaregulaarse serva, samas kui piirkonnas B on esile tõstetud serv, mis on moodustatud piirkondade ristumiskohtades.

Käsitsi toimuv elementide koostamine on aeganõudev, töömahukas, subjektiivne ja nõuab kvalifitseeritud töötaja kogemust. Kuigi üksikute geomeetriliste primitiivide modelleerimine võib üsna kiiresti toimuda, võib rajatise modelleerimine nõuda tuhandeid primitiive. Keskmise suurusega hoone puhul võib modelleerimise aeg kokku olla mitu kuud, mis on sageli kitsaskohaks BIM-projekti läbimisel. Kuna sama tüüpi primitiive tuleb modelleerida kogu rajatise ulatuses, on töövõtted korduvad ja ühetaolised. Samas on modelleerimisvahendid keerukad ja ainulaadseid olukordi tuleb ette piisavalt sageli, projekteerijad peavad olema väga pädevad ja vajavad spetsiaalset väljaõpet. [Tang, 2010]

Käsitsi 3D-mudeli loomine punktipilvest on töömahukas protsess. BIMi puudumise tõttu tekitab nende toimingute puhul ajaline mahajäämus. See on otsustava tähtsusega tööstusjuhtide jaoks, sest ilma üksikasjaliku planeerimiseta väheneb tootlikkus oluliselt ning kokkulepitud eelarvet ja ajakava ei suudeta täita. Enamik insenerianalüüsi vahendite jaoks ei ole oluline, mida BIM hoone kohta sisaldab. Lisaks sellele

ebaõnnestuvad katsed eksportida kogu BIMis sisalduv hoone mudeli kohta, et hoone mudel on liiga keeruline või ei ole projektkohaselt ehitatud.

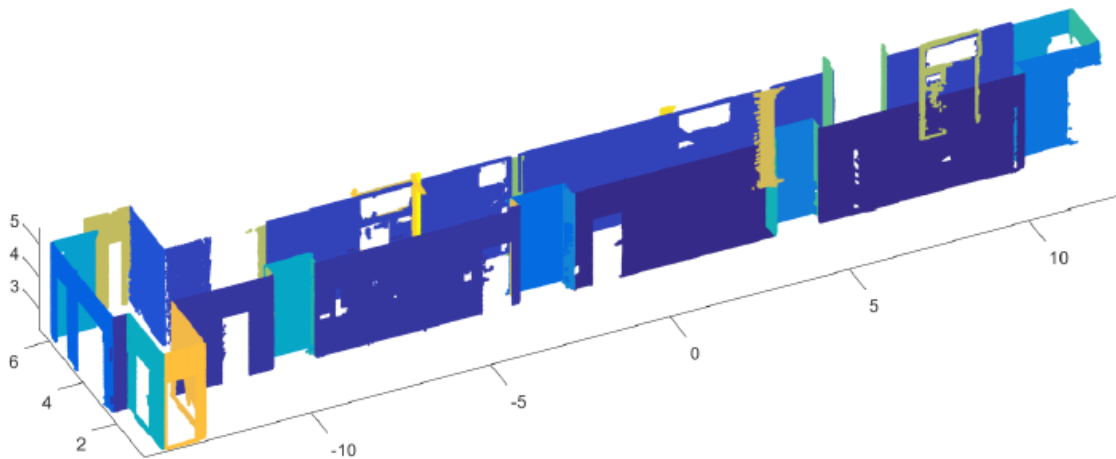
Tang (2010) artiklis on näidatud erinevaid meetodeid vertikaalsete ehitusobjektide automaatseks eraldamiseks 3D-laserskanneriga saadud punktipilvedest. Väljapakutud meetodites eemaldatakse esmalt toorandmed, või eraldatakse horisontaalsed ja vertikaalsed ristlõiked andmetest. Seejärel töödeldakse vähendatud andmeid algoritmide abil, et tuvastada piirid ja ehituskomponendid. Sellised meetodid näitavad, et väljapakutud meetodid suudavad edukalt eristada semantilist mudeli punktipilve tooandmetest, millega saab edasi töötada. BIM-ide loomine on aeganõudev ja selle protsessi tõttu on vaja automatiseeritud või vähemalt poolautomatiseeritud vahendeid BIMi loomiseks. Kuna see meetod ei avalda täielikult käesoleva töö eesmärki, siis vaadeldakse ka Macher (2017) artiklis sisalduvat meetodit infomudelite loomisest.

Selles artiklis (Macher, 2017) on räägitud ehitise infomudelite loomisest, mis eeldab olemasoleva seisundi omandamist olemasolevate hoonete olekuga. Selle eesmärgi saavutamiseks kasutatakse laialdaselt laserskannerit, kuna see võimaldab koguda teavet objekti geomeetria kohta punktipilvede kujul ja pakkuda suurt hulka täpseid andmeid väga kiiresti ja suure detailsusega. Edasi eristatakse poolautomaatne lähenemisviis 3D-mõõtmiseks olemasolevate hoonete siseruumide rekonstrueerimiseks punktipilvest. 3D poolautomaatne rekonstrueerimise seisneb selles, et tuleb kindlaks määrata ülesanded, mida saab automatiseerida. Teiseks, selleks, et tagada lähenemisviisi üldistavatus, kaalutakse ülekantavust. See hõlmab uuritavate ehitiste omaduste määramist. Viimane, kuid mitte vähem oluline punkt on geomeetrilise tulemuse kvaliteet. Kvaliteedikriteeriumid on ette nähtud lähenemisviisi integreerimisel ja kvaliteediindeksid välja pakutakse rekonstrueerimis tulemuste kontrollimisest. [Macher, 2017]

Lähenemisviis koosneb kahest peamisest osast. Esimeses osas on eesmärk segmenteerida punktipilved nii, et hoone struktuurielemendid oleksid tuvastatud. Siseruumide punktipilved segmenteeritakse kõigepealt alaruumideks, nimelt korrusteks ja ruumideks. Seejärel teostatakse iga ruumi punktipilve puhul mitu segmentatsiooni tasanditeks. Need segmenteerimised kombineeritakse punktide liigitamisega mitmesse kategooriasse (alused, laed ja seinad). Lõpuks saadakse seinapunktide pilved seinadeks klassifitseeritud tasapindade ühendase teel. Lähenemisviisi teises osas rekonstrueeritakse hoone seinad ja paneelid 3D-põhiselt seinapunktide ning põranda ja lae punktipilvede põhjal. Punktipilved kirjeldavad neid struktuurielemente kas mahtude või pindade abil. Lähenemisviisi esimese osa eesmärk on struktuurielementide punktipilvede segmenteerimine. See algab ehitise punktipilvede segmenteerimisest ruumiosadesse, et liikuda skaneeritud punktipilvedest edasi ruumide

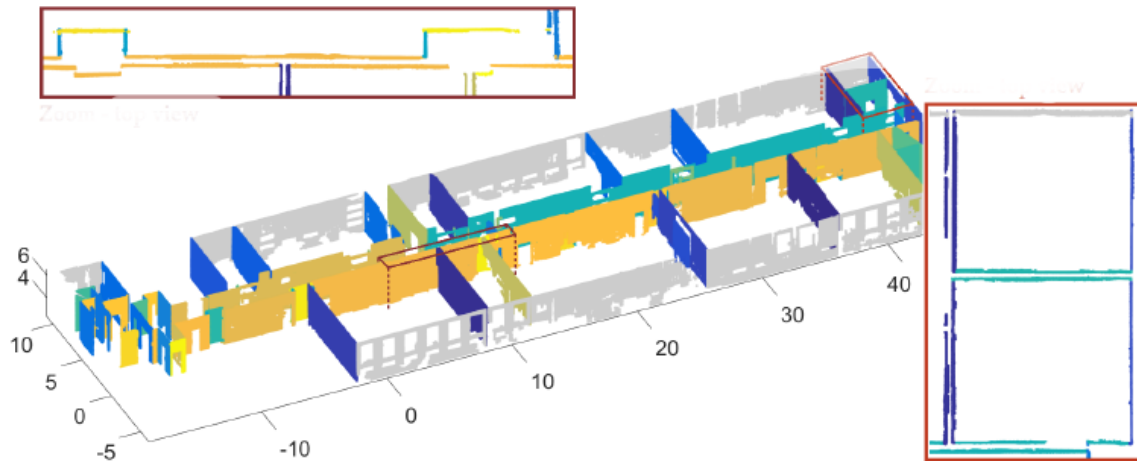
terviklikele punktipilvedele. Seejärel teostatakse iga ruumipunktipilve põhjal mitu tasapinnalist segmenteerimist ja punktid liigitatakse seinteks, lagedeks või aluspindadeks. Lõpuks saadakse seina punktipilved saadud tasapindade kokkupanemisega. Tõenäosus, et esimese segmenteerimise käigus õnnestub eralda kõik väikesed tasapinnad, on väike, mistõttu tehakse mitu segmenteerimist järjestikku. Iga ruumi punktipilve puhul teostavate segmentatsioonide arv määratakse automaatselt, piirates punktilõikes allesjäänud punktide arvu. [Macher, 2017]

Joonisel 4 on esitatud tasapinnaliste segmenteerimiste tulemused esimese korruse ruumi kohta ning sellega seotud segmenteerimiste ja eraldatud tasapindade arvud. Segmenteerimiste arv sõltub ruumi suurusest ja ruumi keerukusest. Üks segmenteerimine on väikese laoruumi segmenteerimiseks (vt joonis 4), samas kui 9 järjestiku segmenteerimist on vajalik umbes 20 m pikkuse koridori jaoks, mis koosneb paljudest tasanditest. [Macher, 2017]



Joonis 4. Tasapindade tuvastamise näide. Koridor - 9 järjestiku segmenti, 34 tasapinna [Macher, 2017]. Näidatud on moodustatud vertikaalsed tasapinnad. Horisontaalsel joonel on näidatud skaala nullpunkt koridori keskel, millest paremale ja vasakule viie meetri kaupa on toodud kogu koridori pikkus 25 m. Laiuti on ala 6 m ja kõrgus 5 m. Erinevad toonid joonisel näitavad osi, mis moodustavad kokku segmente. Segmentid omakorda moodustavad kogu koridori.

Lõpuks grupeeritakse kõik põranda väljavõetud tasapinnad seinteks, kasutades kahte kriteeriumi, mis on paralleelsus ja seinade tasapindade vahelised kaugused (vt joonis 5)



Joonis 5. Seinatuvastuse tulemus (üks värv iga seina kohta) - 1.korrus hoones [Macher, 2017]. Iga värv vastab ühele seinale. Seinte tasapinnad on määratud kindlaks põrandapiiri järgi. Nad on esitatud halli värviga. Iga sein, mis on näidatud kollase, sinise või rohelise tooniga koosneb ühest tasapinnast. Üleval vasakul servas on näidatud liitumiskoha pealtvaade, mis on 3D joonise osa keskel (määratud punase nelinurgaga). Punases nelinurgas paremal pool on toodud liitumiskoha pealtvaade, mis on 3D joonisel üleval paremal.

Võimaldatakse väljatöötatud lähenemisviisi. Esimeses osas tuvastatakse punktipilved. Selles etapis saab automaatselt genereerida põrandapinnad, võttes arvesse eraldatud tasapindade lõikumist horisontaaltasandiga. Lisaks sellele saab lae kõrgused tuletada lagedele ja põrandatele vastavate tasapindade kõrgustest. [Macher, 2017]

Macher (2017) artiklis on kirjeldatud meetod, mis annab ülevaade ja selgituse kuidas peaks vertikaalsete objektide loomine toimima. Esmalt kasutatakse punktipilve segmenteerimist. Järgnevalt teostatakse iga ruumpunktipilve põhjal mitu tasapinnalist segmenteerimist ja siis punktid liigitatakse seinteks. Seda algoritmi saab kasutada töötlemises punktipilvedega.

Eespool nimetatud programmid on kõik poolautomaatsed ja enamik neist on mõeldud ainult töötluslikuks kasutamiseks. Seetõttu on vaja meetodit, mis võimaldab punktipilvedest täielikult automatiseeritud geomeetrilise mudeli loomist, eriti hoone välispiirete modelleerimiseks, vertikaalsete objektide konstrueerimiseks, mis on oluline hoone punktipilve edasitöötlemise jaoks.

Autori Wang (2015) sõnadel, mõningaid teadusuuringuid on tehtud hoone automaatse modelleerimise kohta punktipilvede põhjal, et aidata hoonete haldamist ja toimivuse analüüsi. Teadmiste põhine meetod on rakendatud hoonemudelite rekonstrueerimiseks laserskannerite andmetest, mille puhul eraldatakse hoone tunnused ja piirjooned ning koostakse hoone geomeetriline mudel mitmete eelduste alusel. Skaneeritakse ainult tänavapoolsed fassaadid. Konteksti põhine algoritm on hoonete sisemuse semantiliste 3D „as-is“ hoonemudelite loomiseks. „As-is“ tähendab, et objekti kujutatakse nii nagu

see tegelikult on. Nende konteksti põhine modelleerimisalgoritm suutis tuvastada ja modelleerida siseruumi peamised nähtavad ehituskomponendid, kuid ei suutnud ära tunda ebakorrapärase kujuga komponente, mis on sageli näha hoone kontuurilt. Punkti põhiline meetod on punktipilve andmete automaatseks muundamiseks tahkete mudelite arvutuslikuks modelleerimiseks. Selle meetodi abil saab punktiandmeid otse teisendada ruumilise alajaotuse alusel tahkeid mudeleid, kuid see piirab 2D-fasaadi modelleerimist. Samuti on raske täpselt modelleerida kõveraid kujundeid, näiteks kaarjaid aknaid. Hoone välispiirete komponentide täielik äratundmine on oluline hoone toimivuse analüüsimiseks. Selle tulemusena on hoone välispiirete geomeetrilise teabe automatiseeritud. [Wang, 2015]

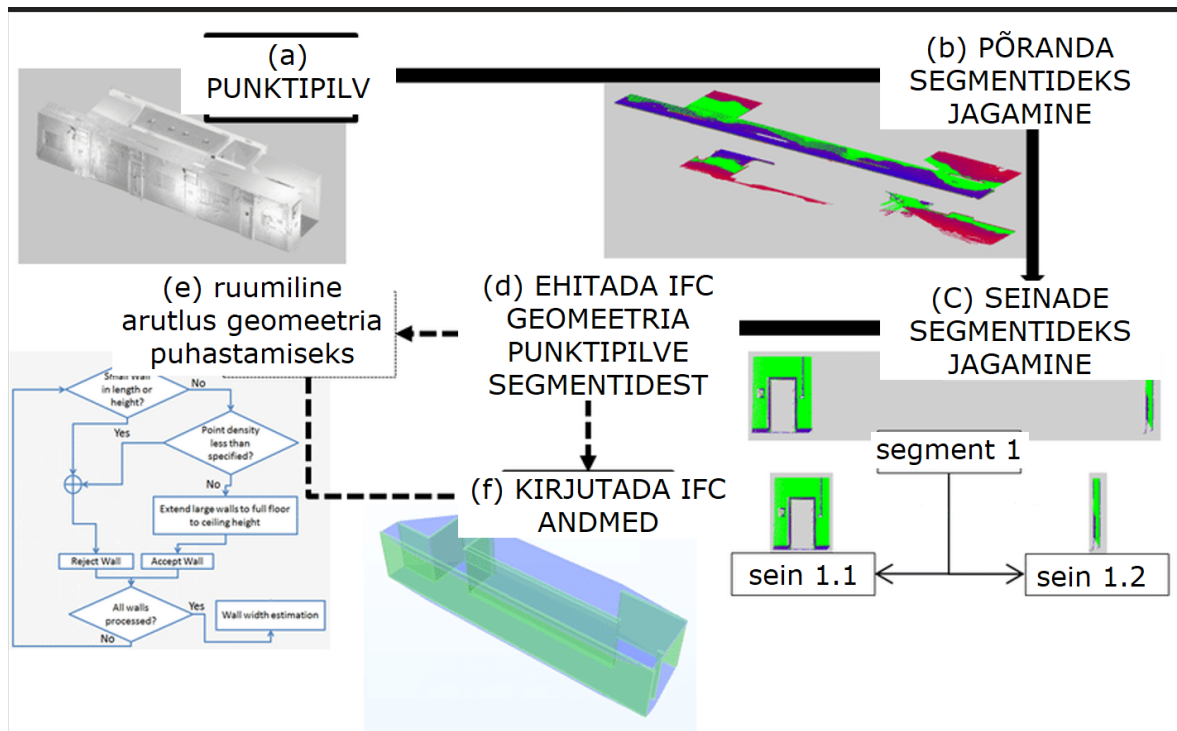
Erinevatest seadmetest kogutud punktipilved võib liigitada kas organiseeritud või organiseerimata. Korrastatud punktipilve andmestruktuur sarnaneb pildi või maatriksi struktuuriga, mille ridades ja veergudes on igal punktipilve punktil oma indeks. Organiseeritud punktipilve eelis organiseerimata punktipilve ees on see, et andmetöötlus on tõhusam, sest naaberpunktide või lähimate naabrite vaheline suhe on teada. Organiseerimata punktipilvedes puudub punktide vahel andmete struktuur või punktide viide, sest nende suurus, resolutsioon, tihedus ja punktide järjestus on erinev. Selle tulemusena kulub organiseerimata punktipilve andmete töötlemiseks tavaliselt rohkem aega. [Wang, 2015]

Automaatses meetodis oli kasutatud „as-is“ hoonemudelite loomine protsess. Näitab, et vähem käsitsitööd annab võimaluse kasutada algset punktipilve. Kuna punktipilve puhastamine toimub käsitsi ja see täiesti sõltub töötajalt ja tema otsustest, kui palju punkte punktipilvest võtaks ära ja millised punktid üldse on liigsed. Ikkagi see mõjutab tulemusele. Näiteks, kui seinadel on olemas aknad ning on vaja need akende punktid eemaldada, aga mõned punktid käivad nii akende kui ka seinaga alla. Saab eeldada, et käsitsi tööd vähenemine annab tulemust palju ideaalsem.

Thomson ja Boehm artiklis (Thomson ja Boehm., 2015) on esitatud kahte automaatset punktipilvest objektide tuvastamise automatiseerimise meetodit. Esimene meetod konstrueerib automaatselt IFC (*Industry Foundation Class*) põikgeomeetria punktipilvedelt. Teine meetod sobib muutuste tuvastamiseks, mis klassifitseerib punktipilve olemasoleva IFC mudeli järgi, järgides tegelikult esimest meetodit. [Thomson ja Boehm., 2015]

IFC-failiformaati kasutavad failid on ehitusinfo modelleerimise (BIM) failid. Erinevalt teisest BIM-failiformaatidest on IFC-failid neutraalsed ja neid saab lugeda ja redigeerida mis tahes tarkvara abil. Esimene meetod koosneb viiest põhietapist: andmete sisestamine, põranda ja seinaga segmentideks jagamine, IFC geomeetria ehitus ja

geomeetria puhastamise ruumiline arutluskäik. Töö ülevaatlik skeem on toodud joonisel 6. [Thomson ja Boehm., 2015]



Joonis 6. Skeem IFC algoritmi sammudeks [modifitseeritud Thomson ja Boehm., 2015]. (a) punktipilv; (b) põranda segmentideks jagamine; (c) seinade segmentideks jagamine; (d) ehitada IFC geomeetria punktipilve segmentidest; (e) (valikuline) ruumiline arutus geomeetria puhastamiseks; (f) kirjutatakse IFC andmed IFC-faili sisse.

Punktipilve andmete laadimine mällu on protsessi esimene samm. Lihtsalt ülevaate jaoks tehakse järgmised sammud, millised erinevates juhtudes on sarnased. Kasutatakse formaati E57. Staatiliste skaneerimisandmete jaoks salvestab E57 skaneerimise punktiandmed kohalikes koordinaatides koos teisendusega igasse metaandmetena salvestatud registreeritud globaalsesse asukohta, seetõttu rakendatakse seda teisendust punktidele, kui need laaditakse PCD punktstruktuuri. Vertikaalsete tasapindade (seinte) jaoks leitakse pinna kirjeldamiseks kaks keskmist punkti, mis arvutavad iga pikema vahe kahe punkti vahel (maksimaalne segment). See leiab hästi X/Y tasapinna ulatuse, kuid selle meetodi abil ei saa garanteerida seina kõrguse leidmist. [Thomson ja Boehm., 2015]

Thomson ja Boehm.(2015) artiklist saab järeldada, et meetod sobib seina konstrueerimiseks, aga ei saa garanteerida seina kõrguse täpsust. Selline olukord tekib seetõttu, et seina osad võivad ulatuda maksimaalse ja minimaalse kõrguse kohtadest kaugemale. Selle tõrjumiseks tuvastati miinimum- ja maksimumkoordinaadid, sorteerides kõik koordinaadid ja tagastades nii madalaimad kui ka suurimad väärtused.

Kasutades nendest saadud Z-väärtusi maksimaalse segmendi X- ja Y-väärtustega, saab määratleda seina üldise ulatuse. [Thomson ja Boehm., 2015]

Ülespool mainitud allikatest saab järeldada, et iga meetod kasutatakse lähtudes erinevatest olukordadest. Eelnevad näited tõid välja erinevaid viise punktipilve automaatseks töötlemiseks ja punktide objektide tuvastamiseks. Iga meetodi jaoks kasutatakse erinevaid viise töö ettevalmistuseks. See annab võimaluse teha võrdluse ja analüüsi iga töö sobivama meetodi valimiseks.

Laserskaneerimine ja punktipilvega töötamine areneb kiiresti ning kolmemõõtmelised joonised on põhilised, millega geodeetid tänapäeval tegelevad. Geodeetide töö on väga mahukas, alustades objekti mõõtmisest kuni objekti joonestamiseni. Töö tegemisel on kasutatud aeg kõige olulisem ressurss töö valmimiseks. Suur küsimus on selles, kuidas teha geodeetide kameraaltöö kiiremaks ja mugavamaks. Tarkvarade uurimine annab ülevaadet ja arusaama, millise tarkvaraga saab rohkem tööd teha madalamate aja kuludega.

Seega, käesolevas töös hinnatakse komponentide tuvastamise algoritmi täpsus, saadud tulemuste täpsus ja iga kaustatud tarkvara tulemuste vigu. Põhiidee on vertikaalsete objektide automaatrežiimis konstrueerimiseks. Sellest saab järeldada, et kasutaja vähendab töötlemiskiirust ja säilitab samal ajal terviklik kasutatav punktipilv. Selle eesmärgi saavutamiseks on vaja analüüsida andmetöötlustarkvarad ja teha proovid valitud tarkvarades.

2.3 Laserskaneerimise andmetöötlustarkvarad

Laserskaneerimiseks kasutatakse erinevate ettevõtete skännereid, millega mõõdistamise üldpõhimõtted kipuvad sarnasema. Samamoodi on andmetöötluseks loodud palju erinevaid tarkvarasid erinevate ettevõtete poolt. Kõigi eesmärgiks on punktipilvedega töötamine, ent tööpõhimõtte on neil erinev.

Laserskaneerimise tehnoloogias kasutatavad tarkvarad võib sõltuvalt nende funktsionaalsest otstarbest jagada järgmistesse rühmadesse:

1. Skänneri juhtimistarkvara:
 - Skaneerimisresolutsiooni määramine, skaneerimissektor objektide visuaalse valiku jaoks, skaneerimisrežiimide valik, digikaamera töörežiimide valik;
 - Skaneerimise visualiseerimine reaalajas;
 - Saadud tulemuste kontrollimine;
 - Skanneri kalibreerimine ja testimine;
 - Võimalike talitlushäirete tuvastamine;
 - Väliste keskkonnatingimuste mõjuga seotud vigade arvestamine;
 - Skaneeringute väline orientatsioon.

2. Tarkvara 3D-punktipilve loomiseks:

- Skaneerimistulemuste georefereerimine;
- Skaneeringute väline orientatsioon;
- Mudeli osakeks jaotamine;
- Mudeli visualiseerimine;
- Eksport ja trükkimine.

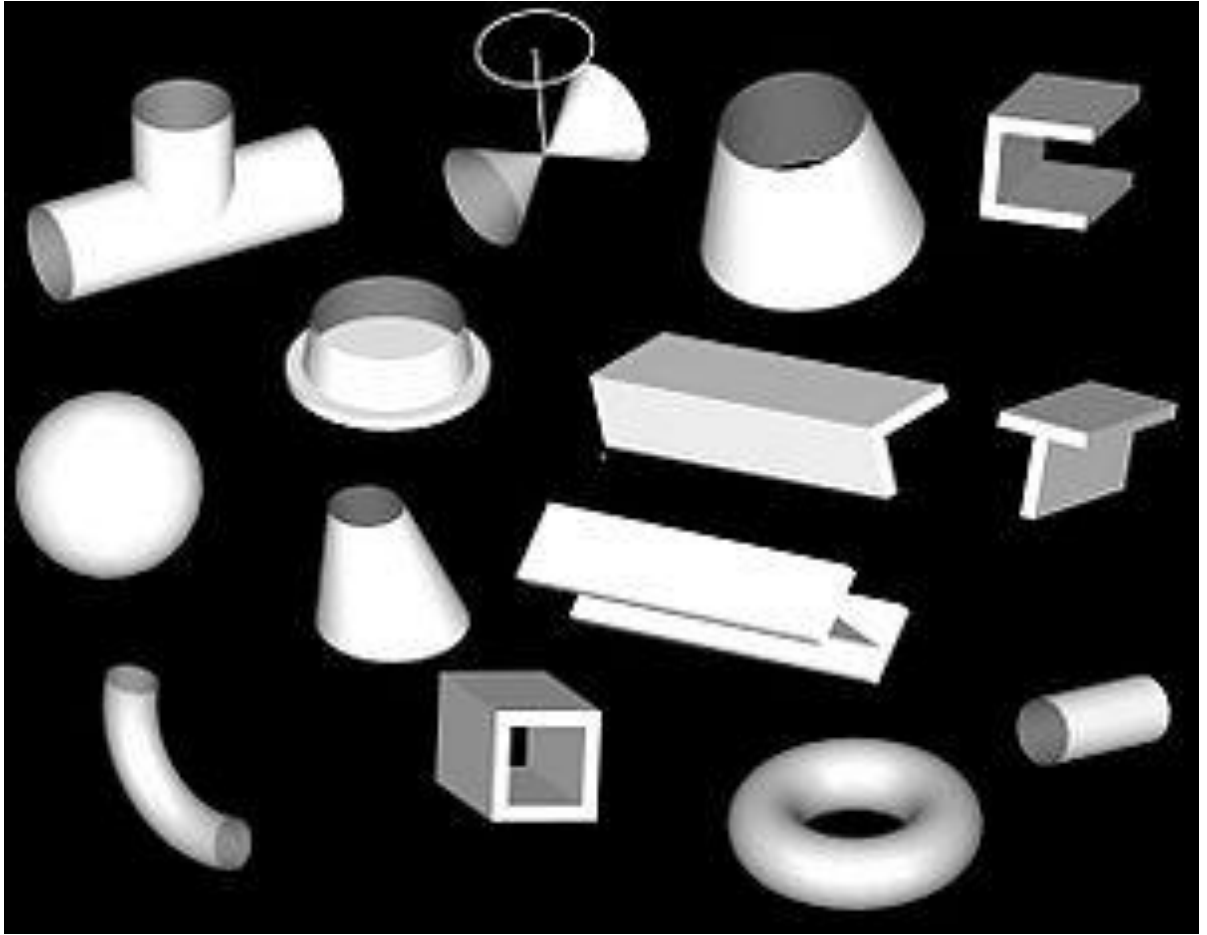
3. Tarkvara skaneerimis andmetest kolmemõõtmeliste mudelite ja kahemõõtmeliste vaade ja kahemõõtmeliste jooniste koostamiseks:

- Ebaregulaarse triangulatsioonivõrgu ja NURBS-pinna (mitte ühtlane ratsionaalne alus) loomine punktide massiivi hulgast;
- Geomeetriliste primitiivide abil skaneeritud objektist mudeli loomine (vt joonis 7);
- Profileerimine;
- Jooniste tegemine;
- Mõõtmiste tegemine (esemete pikkused, läbimõõdud, pindalad ja mahud);
- Konstrueeritud mudeli visualiseerimine (kontuuride ehitamine, tekstuuri lisamine);
- Konstrueeritud mudeli võrdlus projekteeritud mudeliga;
- Maapealse laserskaneerimise andmetöötluse tulemuste eksport ja väljatrükk.

4. Integreeritud tarkvara:

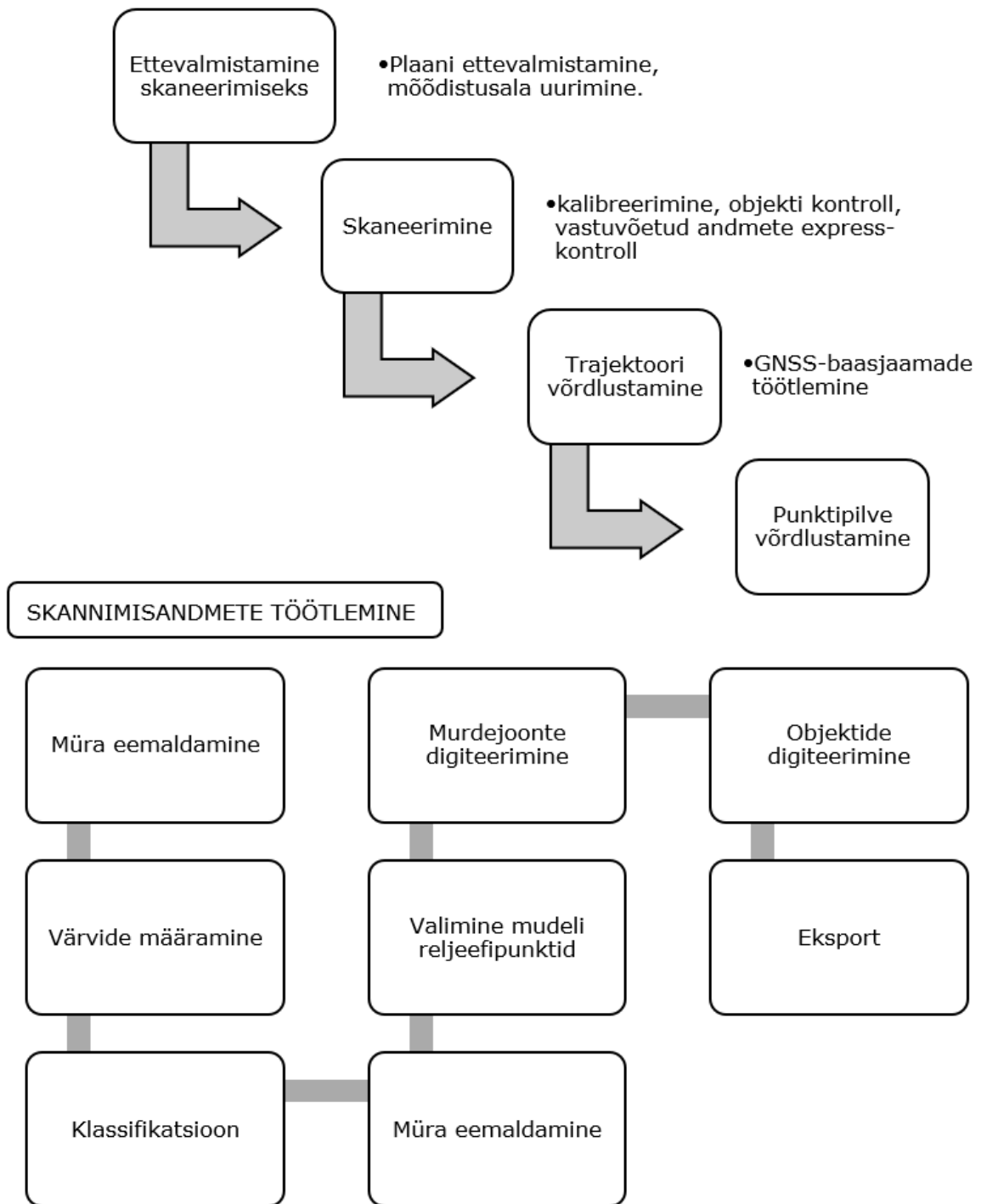
- Juhtimistarkvara kõik funktsioonid;
- Punktipilvedest mudeli loomine;
- Kolmemõõtmeliste mudelite ja kahemõõtmeliste jooniste koostamine maapealse laserskaneerimise andmete põhjal. [Rõs, 2014]

Joonisel 7 on näidatud geomeetrilisi primitiive.



Joonis 7. Geomeetriliste primitiivide komplekt Leica Cyclone Modelis [Tuss, 2011]. On kujutatud laserskaneerimisandmete tüüpilise töötlemise kujundid. Nende abil saab punktipilvest üles leida ja luua erinevaid geomeetrilisi objekte.

Kõigepealt on vaja välitöödeks valmistuda. Selleks valmistada ette instrumendid, uurida maastikku ja valida baaspunktid. Seejärel toimub skaneerimine. Andmete töötlemine on viimane etapp, mis sisaldab müra eemaldamist, värvide lisamist, maapinna punktide määramist, mittevajalike objektide eemaldamist. Joonisel 8 on näidatud skeemil laserskaneerimise töö etapid.



Joonis 8. Tüüpiline protseduur laserskaneerimisandmete töötlemiseks [Sarõchev, 2014].

Käesolev magistritöö keskendub laserskaneerimisandmete töötlemise eelviimasele etapile, mis sisaldab vertikaalsete tasapindade modelleerimist punktipilvest. Töö raames uuritakse programme, kus oleks võimalik automaatselt tuvastada vertikaalsed objektid. Kuna eesmärgiks on uurida erinevaid programme, siis lihtsuse huvides ei vaadata horisontaalseid objekte ega erikujulisi esemeid nagu torud, postid vms. Eesmärgiks on pandud konstrueerida püstised tasapinnad.

Programmide valik on punktipilvedega töötamiseks väga suur. Tabelis 1 on toodud punktipilvede töötlemise programmide loend, kirjeldatud on programmides kasutatavate failide importimis- ja eksportimisvõimalused ning töötlemise etapid. Tabel ei ole kindlasti täielik, sest võimalikke programme on väga palju. Esitatud on põhilised tarkvarad, mis on tänapäeval levinud ja sageli kasutatavad.

Tabel 1. Punktipilvede töötlemise programmide loend [modifitseeritud. Sandstein, 2020].

Toote nimi ja tootja	Impordivormingud	Töötlemine	Eksportivormingud, failitüübid
RiSCAN PRO Riegl GmbH	RiDB, RXP, LAS	Kogumine, registreerimine, filtreerimine, visualiseerimine, värvimine, eksport	ascii, las/laz, dxf, pts, ptz, e57
Pointly Supper & Supper GmbH	las, laz	Pilverakendus suurte punktipilvede salvestamiseks ja visualiseerimiseks. Nutikad valikutööriistad kiireks käsitsi klassifitseerimiseks, treeningandmete loomiseks 3D süvendatud õppimiseks. Pakub soovi korral objektide tuvastamise teenuseid.	las, laz
Rekonstruktor Gexcel	fls, zfs, rxp, 3dd, x3s, x3m, clr, cl3, dp, ixf, nctri, pts	Andmete logimine, automaatne punktipilve registreerimine sihtmärkidega või ilma, müra vähendamine, funktsioonide väljavõtmine, mahu arvutamine, pinnase väljavõtmine, mõõtmine, CAD-mudeli valideerimine, ortofoto, punktipilve redigeerimine, orto-pildi mõõtmine ja eksport, visualiseerimisfailide	ptx, las, laz, obj, pts, ptx, txt, e57, iges, step, asc, ply, ptc, dwg, dxf, ixf

		eksport, video loomine, CAD-andmete import/eksport, märkuste loomine	
Trimble RealWorks Trimble	xyz, e57, ptx, pts, las, laz, zfs, rsp, fls, dp	Automaatne registreerimine koos sihtmärkidega, paigutamine, profiilid, võrgu konstrueerimine, kontuurid, mahu arvutamine, modelleerimine, klassifitseerimine, värvimine, tekstuurimine, animatsiooni loomine, ortofotograafia, mahtude kontroll, pindade ja punkt pilvede 3D ja projektsioonide võrdlemine, vahetusprojektide avaldamine	e57,asc, las 1.2, las 1.4, laz, pod, pts, ptx, tzf, bsf, kmz, dwg, dxf, dgn, fbx, obj
Undet Undet	e57, fls, zfs, las, laz, pts, dp, fpr, lproj, fws, cl3, clr, rsp, ascii/nez (x,y,z,i,rgb)	Klassifikatsioon, värvimine, tekstuurimine, animatsiooni loomine kuna erinevad pluginad, siis on ka funktsioone rohkem kui siin kirjas	las, txt
3DF ZEPHYR 3DFLOW	pts, ptx, e57, ply, fls	Automaatne registreerimine sihtmärkide, paigastus, profiilid, võrgu loomine, kontuurjooned, ruumala arvutamine, õõnesmahu arvutamine, modellerimine, värvimine, tekstuurimine, orto-mosaikide loomine, 3D ja projektsioonipõhine pindade võrdlus ja punkt pilved, eksport HTML- i	obj, ply, fbx, xyz, dsm/dtm, geotiff, orthomosaic, true, orthophoto, punktandmed, tekstuurid

ReCap Autodesk	xyz, e57	Ülevaatamine, puhastamine, eraldamine ja eksport	CAD formaadid, rcp, rcs
PointCab PointCab GmbH	ptx, rsp, pts, fws, ptg, mpc, e57, las, laz, xyz	Andmete logimine, automaatne punktipilve registreerimine sihtmärkidega või ilma, müra vähendamine, funktsioonide väljavõtmine, mahu arvutamine, pinnase väljavõtmine, mõõtmine, punktipilve redigeerimine, visualiseerimisfailide eksport, CAD-andmete import/eksport, märkuste loomine	ptx, las, laz, obj, pts, ptx, txt, e57, iges, step, asc, ply, ptc, dwg, dxf, ixf
Revit Autodesk	dxf, dgn, dwg, sat	3D projekti visualiseerimine, modellerimine, töötamine punktipilvega, kommunikatsioonide projekteerimine, koordineerimine, 2D- jooniste import ja eksport	Dwg, dxf, dgn, acis (sat),
VisionLidar Geo-Plus	ptx, e57	Võrgu töötlemine, klassifitseerimine, värvimine, tekstuurimine, drapeerimine, ortograafiline projektsioon, sulandamine CAD- või GIS-andmetega	obj, ply, pod, las, xyz, dsm, geotiff, ortho, textures, punktiandmed
Leica CYCLONE Leica Geosystems	zfc, zfs, scan, las, e57, pts, ptx, txt, xyz, ptz, ptg, ptb	Punktipilvede võrdlemine, mõõtmine, muutmine, modelleerimine, konstrueerimine 3D-mudeli punktipilvest	ptx, las, laz, obj, pts, ptx, txt, e57, iges, step, asc, ply, ptc, dwg, dxf, ixf

Erinevad skannerid toodavad algandmeid mitmes vormingus. Erinevad töötlusprogrammid võivad aktsepteerida mõnda faili tüüpidest ja igal tarkvaral on

erinevad ekspordivõimalused. Suurim erinevus punktipilve failitüüpide vahel on ASCII ja binaarse andmeformaadi kasutamine. ASCII (Ameerika teabevahetuse standardkood) edastab teavet inimsilmale loetava tekstina. Levinumad ASCII-punkti pilvefailide tüübid on XYZ, OBJ, PTX (Leica) ja ASC. Formaat E57 salvestab andmeid nii kahend- kui ka ASCII-vormingus, ühendades mõlema eelised ühes failitüübis. Erinevaid andmeformaate kasutatakse erinevates tarkvarades erisugustel eesmärkidel. Näiteks XYZ formaat koostatakse X, Y, Z koordinaatideks ja lõplik fail on tekstiformaadis. Formaat OBJ sisaldab ainult 3D geomeetriat, kõrgusväärtuseid ning polügoonide informatsiooni. [Thomson, 2018]

Käesoleva töö eesmärk on uurida tarkvarasid, mis konstrueeriks automaatselt vertikaalsed objektid 3D mudeliks. Punktipilvede töötlemiseks on tarkvarasid palju. Töösse on valitud programmid, mis on paljude allalaadimiste põhjal tänapäeval väga levinud. Iga programmi puhul vaadatakse, et see võimaldaks töödelda näiteks laserskaneerimisel saadud punktipilvi, saaks punktipilve tarkvarasse laadida esialgses formaadis ja et viimased uuendused oleks tehtud viimase 2 aasta jooksul. Viimane detail on vajalik, sest uuendused annavad võimaluse teha tööd kiiremini ja töötaja saab olla kindel, et tarkvara on jätkusuutlik ning töötamine pikka aega võimalik. Kuna üliõpilasel on piiratud võimaluse tõttu võimalik kasutada vaid tasuta demoversiooni, siis muutub valik veelgi väiksemaks. Mõned tarkvarad pakuvad tasuta prooviversiooni, kuid piirangud on käesoleva töö teostamiseks väga ebamugavad (näiteks ei saa tehtud projekti salvestada, ei ole prooviversiooni tasuta saadaval, ei saa kasutada prooviversiooni raames kõikide funktsioonide võimalusi), mistõttu sellised programmid valikusse ei sobinud (näiteks Reconstructor, Pointly).

Tabelis 1 käsitletud programmide ülevaade on esitatud töö lisan, tuuakse välja tarkvarade võimalused, eelised ja puudused. Järgnevates jaotistes vaadeldakse ainult neid tarkvarasid, mida käesolevas töös põhjalikumalt käsitletakse, ehk Vision Lidar ja Leica Cyclone.

2.3.1 Leica Cyclone (Leica Geosystems)

Šveitsi ettevõtte Leica Geosystems, osa kontsernist Hexagon, on tänapäeval üks suurimaid geodeetiliste laserskaneerimise seadmete tootjaid. Laserskaneerimise andmete töötlemiseks pakub see terve rida mooduleid (näiteks REGISTER, SURVEY, MODEL) ühes tarkvarakoos – Leica Cyclone. Moodulite komplekt võimaldab läbi viia kogu laserandmete hankimise ja töötlemise tsükli: skaneerimine alates kontrollist, punktipilvede pildistamise ja registreerimise protsess ning lõpetades 3D-mudelite ja väljunddokumentide moodustamisega. [Artgeo, 2020]

Cyclone REGISTER 360 2017. aastast pakub kasutamiseks uuendatud ja täiendatud versiooni. REGISTER 360 on registreerimise moodul, mis tähendab, et ühes koordinaatsüsteemis erinevatest skaneerimispunktidest moodustatud punktipilved liidetakse üheks punktipilveks. [Artgeo, 2020]

Cyclone SURVEY sisaldab tööriistu, mida geodeedid vajavad topograafilise uuringu dokumenteerimiseks: kontuuride, profiilide ja sektsioonide moodustamine, pindade loomine triangulatsioonimudelite kujul, pindade ja mahtude arvutamine. [Artgeo, 2020]

SURVEY moodulis saab eraldi esile tõsta tööriista *Virtual Surveyor* – „virtuaalne topograaf“, mis jäljendab topograafiliste andmete akumulierimise protsessi traditsiooniliste geodeetiliste instrumentidega, näiteks tahhümeetriga. Saadud andmeid (tavaliselt tekstivormingus) saab geodeetiliste andmete töötlemiseks edastada kolmandate osapoolte süsteemidesse nagu 3D vaade. [Artgeo, 2020]

Cyclone MODEL on Cyclone SURVEY laiendatud versioon, mis võimaldab 3D-mudeleid genereerida punktipilvedest. Struktuurse projekteerimise raames võivad kasulikud olla järgmised funktsioonid:

- Murdejoonte ehitamine vastavalt eelnevalt määratletud mallidele.
- Tööriista „nutikas“ valik, mis võimaldab kasutada spetsiaalset vaateakent kursori all olevate punktide valimiseks vastavalt teatud kriteeriumile: lähimad punktid, madalaima või kõrgeima kõrgusega punktid või maapinnad. Valitud punktidest saab seejärel joonestada jooni, lõikejooni ja kõveraid. Selle tööriista jaoks on mugav kasutada äärekiivi ülemist joont ja taldmikke ning muid tee-elemente.
- Kontuuride, sektsioonide automaatne genereerimine.
- Pindade ehitamine nii neliknurksete pindade abil kui ka triangulatsioonimudeli kujul. [Artgeo, 2020]

Cyclone tootesari sisaldab ka abimoduleid, mis pole mõeldud töötlemiseks, kuid võimaldavad vaadata ja skaneerida laserskaneerimise andmeid (Cyclone BASIC, Cyclone IMPORTER) ning üldist juurdepääsu punktipilvedele, mudelitele ja muudele materjalidele, skaneerimine kliendi-serveri tehnoloogia abil (Cyclone SERVER). Moodulit Cyclone SERVER saavad skaneeritud andmete juurdepääsu võimaldamiseks kasutada ka kolmanda osapoolte programmid. Näiteks kasutatakse laserskaneerimise andmete CAD-i laadimiseks Cyclone SERVERit MicroSurvey CAD ettevõttes MicroSurvey'is, mis on sarnaselt Leica Geosystemisega Hexagon Groupi liige. [Artgeo, 2020]

Joonisel 9 on näidatud programmi Leica Cyclone liides.



Joonis 9. Leica Cyclone liides [Leica Geosystems,2021]. Paremal pool on toodud programmi tööaken ja üleval tööikoonid, millega ei ole vaade liigselt koormatud. Tarkvaras kasutatakse musta tausta, mida muuta ei saa.

Programmi kasutus on kirjeldatud jaotises 4.1.

2.3.2 VisionLidar (Geo-Plus)

Geo-Plus on suurettevõtte arhitektuuri-, inseneri- ja ehitustarkvara turul. Alates 1987. aastast on tuhandeid kliente kogu maailmas selle firma tooteid ja teenuseid kasutanud. Tarkvara Vision Lidar sisaldab üle 16 3D-mõõtmise, 3D-struktuuri, geomeetria, inventari- ja dokumendihalduse lahenduse infrastruktuuri spetsialistidele. [Softsoldier,2021]

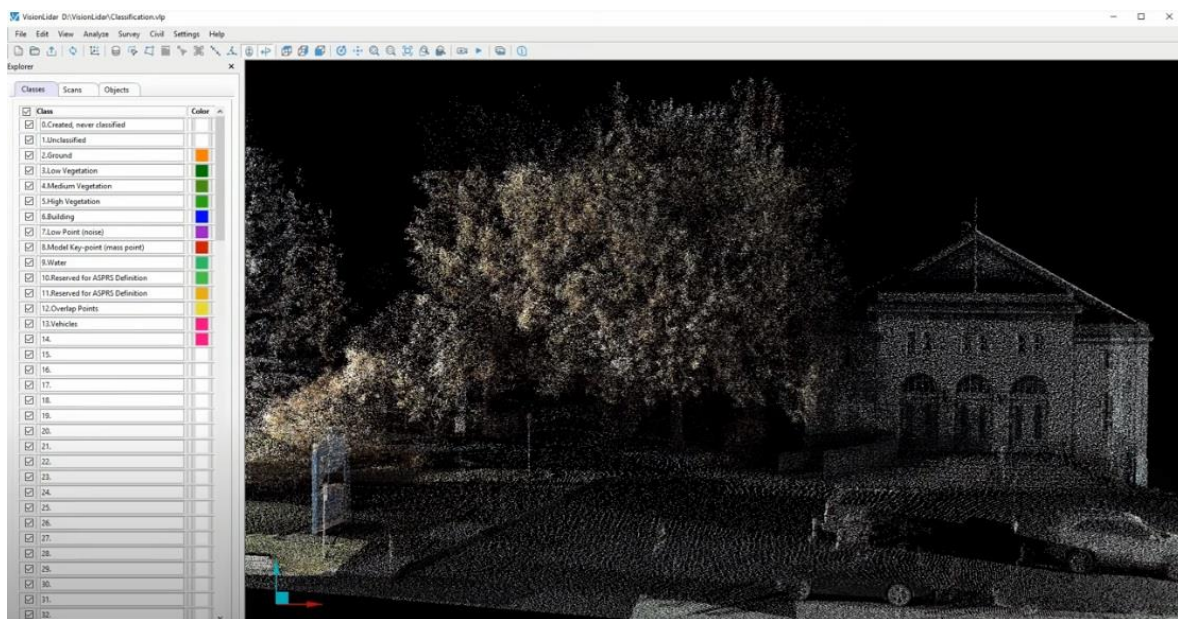
Programmi VisionLidar funktsioonid:

- Dünaamiline 3D-snäppimine võimaldab punktipilve osi valida sisemise või välise piiritlemise abil. Saadaval on sellised tööriistad nagu redigeerimine, kustutamine, eksportimine, segmentideks jaotamine, klassifitseerimine, pinna analüüs, dendromeetria, silindri tuvastamine. Samuti on võimalik punktipilve osi eksportida *e57*, *las*, *laz* ja *pts* vormingutesse.
- Ristlõikemall võimaldab keerukaid 3D-kujundeid mõne klõpsuga vektoriseerida. Teed, tunnelid ja muud 3D-struktuurid saab salvestada ja teisendada CAD-iks, kasutades 3D-modelleerimise tööriista ja ristlõikemalle. Erinevate ristlõigete abil saab üheaegselt tegeleda erinevate tasanditega. Ristlõike saab kopeerida järgmisesse mõõtmispunkti-reaale või intervalli. Intervalli kauguse saab ise valida. Kasutaja saab visualiseerimiseks valida ühe või mitu punkti või täppi ning

kohandada kolmemõõtmelise tee, silla või tunneli. See tööriist aitab teha jooni objektide koodidega, eraldusjooni pindade eksportimiseks *DXF*-vormingutesse või *Shape File*-vormingutesse.

- Võimalused luua pilte ja videoid. Tänu sellele tööriistale saab hõlpsasti luua pildi ja salvestada selle *PNG*-vormingus. Vaid mõne hiireklõpsuga saab luua intuitiivse, ajatempliga avatava video *AVI*-formaadis.
- Mudeli geomeetria. Võime eraldada kontuure, luua vörke, pindu, tasapindu, silindreid, puid, kõnniteid, hooneid, kõnnitee jooni või mis tahes muud geomeetrilist mudelit, et seda tõhusalt vektoriseerida ja salvestada see *DXF*-i formaati või Visioni andmebaasi.
- Kahe täis-saneeringuga tehtud punktipilvede võrdlemine ja nendevaheliste erinevuste värvimine. Tänu sellele võimsale tööriistale saab teha nihke või kõrvalekalde hinnangu.
- Puude mõõtmine. 3D-pildistamisvahendiga saab valida ala või punktipilve osa ning puu kõrgust, tüve läbimõõtu, võra suurust saab mõõta automaatselt. [Softsoldier,2021]

Joonisel 10 on näidatud Vision Lidar tarkvara liides.



Joonis 10. VisionLidar liides [Softsoldier,2021]. Tarkvara pole töötamiseks ikoonidega üle koormatud. Tööaken on suur ja tööriistade valik on vasakul. Tarkvaras kasutatakse musta tausta, mis ei ole mugav, kui punktipilv on suuremõõtmeline ja mahukas.

Programmi kasutus on kirjeldatud jaotises 4.2.

2.2. Valitud programmide hinnang

Selle töö raames oli algselt ülevaatamiseks ja uurimiseks valitud 11 programmi (tabel 1). Tarkvarad on täiesti erinevad, aga kõik need lubavad töötada erinevatel meetoditel saadud punktipilvedega. Kuna kõiki programme ei olnud erinevatel põhjustel (toodud programmide kirjelduse juures) võimalik kasutada, siis lõpliku põhjaliku analüüsi jaoks jäid sõelale vaid paar programmi.

Uurimiseks valitakse levinud programmid, viimased uuendused on tehtud viimase 2-3 aasta jooksul, tagasiside kasutusmugavusest on positiivne. Valitud tarkvarasid uuriti ja kirjeldati põhjalikumalt eelmises peatükis ning lisades, et teada saada, milliseid funktsioone tarkvarad pakuvad ja kas need tarkvarad sobivad eesmärkide saavutamiseks või mitte.

Tarkvarade uurimise ajal tehti vajalikud järeldused ning lõplikult valiti välja 2 tarkvara, (vt Tabel 2). Ülejäänud tarkvarade uuring on toodud peatükis Lisad lk. 77.

Tabel 2. Programmide valik.

Tarkvara	Punktipilve automaatse töötlemise võimalus	Tarkvara on valitud
RiSCAN PRO	ei	ei
Pointly	ei	ei
Reconstructor	ei	ei
Trimble RealWorks	ei	ei
Undet	ei	ei
3DF Zephyr	ei	ei
ReCap	ei	ei
PointCab	ei	ei
Revit	ei	ei
Leica Cyclone	jah	jah
Vision Lidar	jah	jah

Tabel 2 on kokkuvõtlik tabel, mis näitab, millised tarkvarad valitakse. Näitab, kas programm võimaldab punktipilve automaatset töötlemist, mis töö ühe eesmärgina kirjas on. Automaatse töötlemise võimalus on esimene küsimus, millele peaks tarkvara vastama. Need tarkvarad, millised ei ole valitud selle töö uurimiseks, on toodud lisades ülevaateks. Esimesed 9 tarkvara ei võimalda punktipilve automaatset töötlust käesoleva töö raames, seega ei osutunud need ka valituks.

Programme Leica Cyclone ja Vision Lidar on selles töös põhjalikumalt käsitletud, nendes vaadatakse vertikaalsete objektide (püsti seinte) loomist automaatsete võimaluste abil ning saadud tulemuste põhjal tehakse analüüs ja järeldused.

3. TÖÖTLEMINE PUNKTIILVEGA VALITUD TARKVARADES

3D-laserskaneerimise tehnoloogia on üks moodsaim ja tõhusaim mõõtmismeetod, mida kasutatakse geodeesias, arhitektuuris, tööstuses, maanteede infrastruktuuri ehitamisel, arheoloogias. Maapealne laserskaneerimine annab võimaluse saada mõõteandmeid kõrge detailsuse ja täpsusega, kasutades kontaktivabasid spetsiaalseid laserskannereid või teisi seadmeid.

Pärast skaneeritud andmete vastuvõtmist algab andmetöötluse etapp. See on kogu laserskaneerimisprojekti peamine osa. Teema aktuaalsus ja ajakohasus oli motivaatoriks käesoleva magistritöö valikul. Laseskaneerimise tulemuste töötlemiseks on palju tarkvarasid, ent magistritöö eesmärgiks on leida tarkvara, millega saaks kõige lihtsamini ja täpsemini automaatsel teel konstrueerida vertikaalseid tasapindu. Kui selline tarkvara leitud, siis edaspidi vajab uurimist, kas valitud tarkvarad sobivad ka teistsuguste objektide automaatseks konstrueerimiseks ja kui mugavad, kiired, lihtsad, täpsed võimalused selle jaoks on olemas. Käesolev töö saab keskenduda ainult tudengile kättesaadavatele tarkvaradele, mis tähendab, et vajalik on prooviversiooni olemasolu ja selle kasutamise võimalused. See seab tööle suured piirangud.

Seega, programmide valik määratakse konkreetsete kriteeriumite järgi: peab olema võimalik alla laadida tasuta prooviversioon, millel on piisavalt funktsionaalsusi vertikaalsete tasapindade konstrueerimiseks punktipilvest.

Töötlemiseks 3D punktipilvega on valitud kaks programmi (vt jaotised 4.1 ja 4.2):

- **Leica Cyclone**
- **Vision Lidar**

Need tarkvarad pakutavad punktipilvega töötlemiseks võimalusi, mis antud töös vajalikud.

Tarkvarad Leica Cyclone ja Vision Lidar valiti seetõttu, et toetavad käesoleva töö eesmärgi töödelda punktipilvede andmeid automaatrežiimis ja konstrueerida vertikaalseid objekte.

Leheküljel 77 on pandud lisad, kus näidatakse tehtud tööd magistritöö kirjutamise ajal erinevates teistes tarkvarades, millistes ei saanud tulemusi eesmärkide saavutamiseks.

3.1 Uurimisala kirjeldus

„Käesolev lõputöö käsitleb Tallinna linnas Mustamäe linnaosas paikneva Akadeemia tee 5A pereühiselamut. Mõõdistamiseks kasutati terrestriilise laserskaneerimise tehnoloogiat kombineerituna elektrontahhümeetria ja GNSS (Global Navigation Satellite System) mõõtmistega. Terrestriilise laserskaneerimise ning punktide koordineerimise välitööd viidi läbi 3. juuli 2015. Välimõõtmised viisid läbi Tallinna Tehnikaülikooli geodeesia õppetooli töötajad Kalev Julge ja Romet Kook. Laserskaneerimise jaoks kasutati laserskannerit Leica ScanStation C10.“ [Julge,2016]

„Kasutatud instrumendi peamised tehnilised andmed on järgnevad:

- Skaneerimise ulatus kuni 300 m (90% peegeldumiskoeffitsiendiga pinnalt)
- Skaneerimise tööpiirkond horisontaalsuunaliselt 360 kraadi, vertikaalsuunaliselt 270 kraadi
- Skaneerimise sagedus 50 000 punkti sekundis
- Individuaalse skaneerimispunkti kauguse täpsus 4 mm vähemalt 50 m kaugusel
- Individuaalse punkti 3D asukoha määramise täpsus 6 mm vähemalt 50 m kaugusel
- Punktipilve statistiline modelleerimistäpsus 2 mm.“ [Julge,2016]

„Erinevate skaneeringute ühendamiseks kasutati spetsiaalseid tähised (reflektorid), mis olid paigaldatud kindelpunktidele (asfaldinaelad). GNSS vastuvõtjaga Trimble R8 määrati baaspunktide (asfaldinaelad) koordinaadid (vt tabel 3). Absoluutseks kohamääranguks L-EST97 (tasapinnaline ristkoordinaatide süsteem) ja BK77 (Balti 1977. aasta kõrgussüsteem) süsteemides koordineeriti kindelpunktid kasutades elektrontahhümeetrit Trimble S6.“ [Julge,2016]

Tabel 3. Kindelpunktide koordinaadid. [Julge,2016, lk 2]

E	N	H
537923.236	6584433.440	23.197
537983.993	6584422.386	22.843
537953.670	6584472.159	21.729
537985.077	6584476.510	22.690
537946.240	6584520.216	21.570
537922.590	6584512.320	21.697
537909.883	6584487.627	21.814

Tabelis 3 on toodud kindelpunktide koordinaadid mõõdistamise järjekorras. Iga punkti kohta on antud ka kõrgus.

„Fassaadi mõõtmiseks sooritati terrestriilise laserskanneriga 10 seis (vt joonis 11). Erinevatest jaamadest tehtud seisude ühendamiseks ühtesse süsteemi kasutati seitset

kindelpunkti ja reflektoreid. Kokku mõõdeti ca 20 000 000 punkti, keskmine punktihedus ca 8000 punkti ruutmeetri kohta.”



Joonis 11. Fassadi laserskaneerimise jaamade ja tähiste paiknemise skeem [Julge,2016]. On toodud uuritava hoone Akadeemia tee 5A laserskaneerimise jaamade ja tähiste paiknemise skeem, kolmnurkadega on tähistatud jaamade asukohad ja ringidega kindelpunktid.

Julge (2016) sõnul, saadud andmed töödeldi programmiga Cyclone 9.0 ühtseks punktipilveks. Pilvede ühendamise vead olid enamasti 2 mm piires, maksimaalselt 4 mm. Punktipilve väljundformaadiks oli .pts ja .xyz. [Julge,2016]

Käesoleva töö jaoks kasutati punktipilve formaadiga .pts, mis programmi Revit jaoks konverteeriti tarkvara Recap abil formaati .rcp. Punktipilve maht oli 436 555 KB.

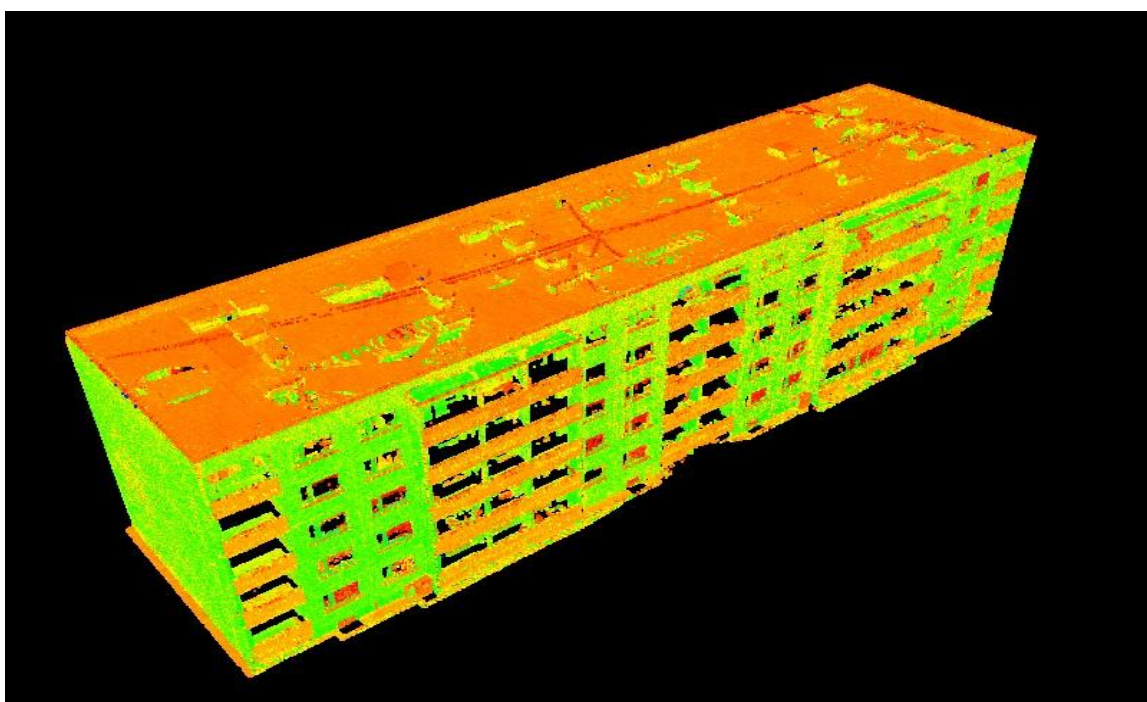
Kasutatud punktipilv oli varem puhastatud liigsetest objektidest, mis skaneerimise ajal tekivad. Alles on jäetud ainult terviklik hoone punktipilv. Punktipilve ei ole käesoleva töö jaoks eraldi erinevatest objektidest puhastatud nagu aknad ja rõdud, see oli põhimõtteline otsus. Eesmärk oli, et tarkvara võtaks seinapunktid tasapinna konstrueerimiseks ja kui näiteks esineb pilves tühi koht (akna punktid) või liigsed punktid (rõdu punktid), siis tarkvara teeb tasapinnaläbi selliste punktide. Mõte seisneb selles, et seinapunktid moodustavad ühe paksusena ja ühel vertikaalsel tasandil.

4. VERTIKAALSETE TASAPINDADE KONSTRUEERIMINE 3D-PUNKTIPIILVEST KAHES TARKVARAS

4.1 Leica Cyclone

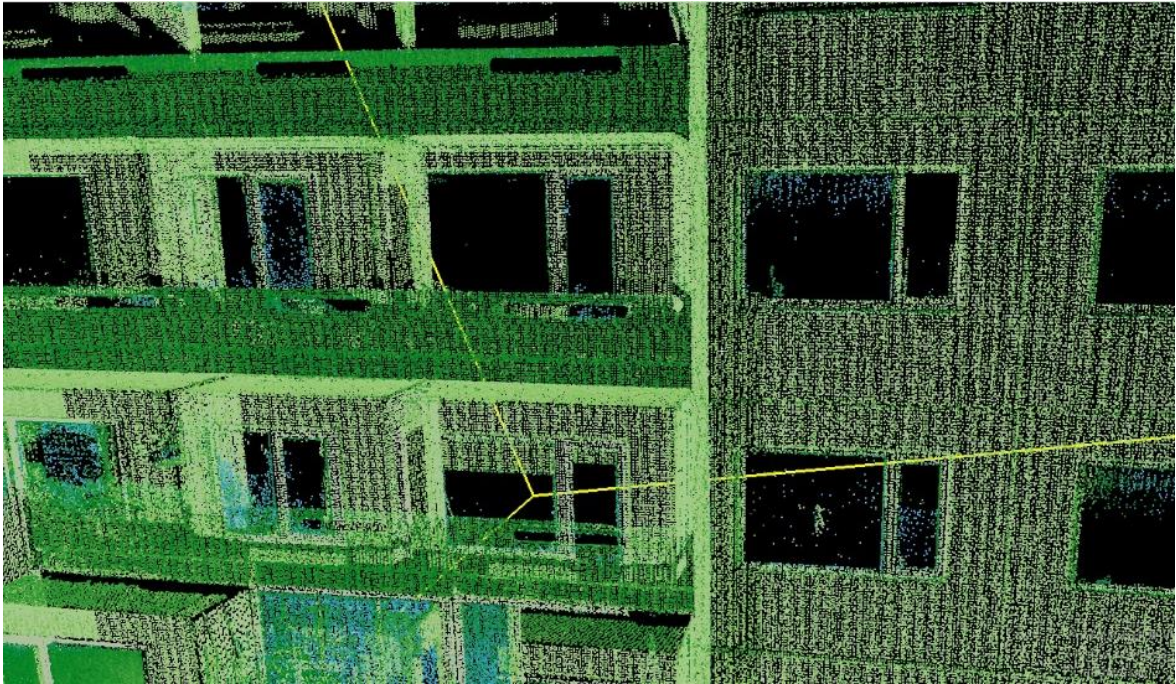
Cyclone koosneb eraldi moodulitest, mis on kogutud ühte tarkvarasse. Erinevad moodulid on mõeldud 3D laserskaneerimise andmete töötlemise üldise protsessi konkreetsete ülesannete lahendamiseks. Käesoleva töö jaoks kasutati 3D konstrueerimiseks moodulit REGISTER 360, mis lubas alla laadida tudengi versiooni 30 päevaks.

Tarkvara katsetamiseks luuakse Leica Cyclone'is uus projekt ja imporditakse sisse Akadeemia tee 5 hoone punktipilv otse skaneerimisandmetest formaadis .pts. Punktipilve ei ole töödeldud või puhastatud. Järgmisena valitakse 3D-mudel ja punktipilv kuvatakse mudeliruumis (vt joonis 12).

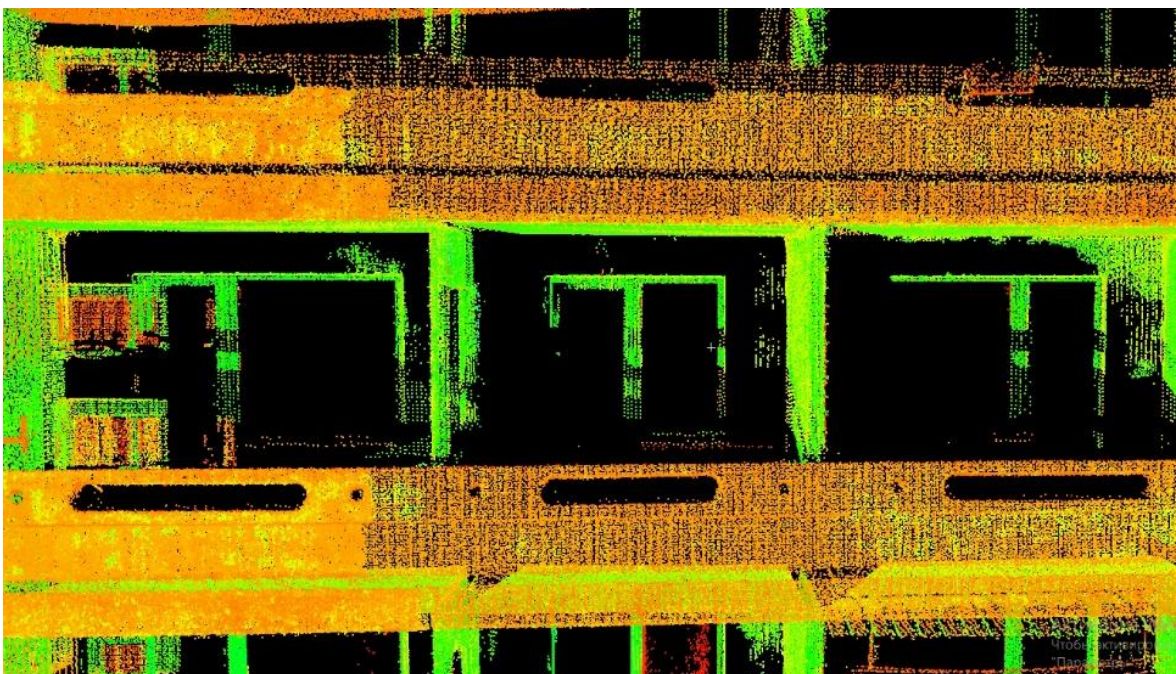


Joonis 12. Mudeliruum Leica Cyclone'is. On näidatud Leica Cyclone programmi laetud Akadeemia tee 5 hoone punktipilv kahes värvitoonis. Rohelised punktid näitavad vertikaalseid pindasid punktipilvest, oranžiga on kuvatud horisontaalsed pinnad.

Joonistel 13 ja 14 on näidatud suurendatud punktipilv objektide nagu aknad ja rõdud detailsuse tuvastamiseks.



Joonis 13. Punktipilv suurendatud kujul detailsuse kuvamiseks. Mõned punktid asuvad kohtades, kus neid ei peaks olema. Näiteks akendes, kus peab olema täiesti must ala (laserkiiir peegeldub ja punkte sinna ei mööda), on mõned sinised punktid. See näitab, et laserskaneerimine ei ole 100% täpne mõõdistamine, punktipilve peaks pärast valmimist töötlemata ja ebavajalikest punktidest puhastama. Samas on punktipilv üldiselt korrektne ja detailid eristatavad.



Joonis 14. Punktipilve detailsus: aknad ja rõdud. Toodud lähivaates aknad ja rõdud. Siin on näha, et ebakorrektselt kuvatud punktid rõdude peal on vaja ära kustutada, see on müra.

Programmis Cyclone on kolm võimalikku tasapinna konstrueerimise viisi: automaatne, poolautomaatne, interaktiivne.

1. Automaatrežiimis toimub tasapinna loomine järgmiselt. Kasutades tööriista *Limit Box*, piiratakse tööala. Järgmisena valitakse *Pick Modes* käsuga punkt massiivist ja kasutatakse tasapinna loomiseks käsku *Create Object/ Segment Cloud/ Region grow/ Patch*. Seejärel saaks valida erinevaid parameetreid: konstrueerimiseks kasutatavate punktide vahemik, tasapinna suurus, laius, pikkus.

Aknas *Region Grow Path* on kuvatud järgnevad read:

- *Region Thickness* – „kihi“ paksus;
- *Maximum Gap to Span* – massiivi punktide maksimaalne vahe,
- *Region Size* – loodud tasapinna pindala;
- *Results* – kasutatud punktide arv (*Complete with*), objekti sobitamise täpsus (*Fit Std. Deviation*) ja tasapinna suurus (*Size of Surface*).

Selle tulemusena on näha, kui palju punkte kasutatakse tasapinna ehitamiseks, standardhälvet ja saadud tasapinna suurust. Selle meetodiga analüüsitakse naaberpunktide paigutust ja arvutatud tulemuste põhjal saab otsustada, kas konstrueeritud tasapind sobib või mitte. Pärast parameetrite vaatamist ja sobivaks tunnistamist klõpsatakse aknas „*Region Grow Patch*“ OK, misjärel luuakse soovitud tasapind.

2. Tasapinna joonistamiseks poolautomaatrežiimis peaks tööriista *Limit Box* abil piirama tööala. Menüüst valitakse käsk *View/ Limit Box*. Tasapinna loomise režiimis on vajalikud järgmised kirjeldatud sammud:

- Valitakse tasapinnale kuuluv punktide massiiv funktsiooni *Polygonal Fence Mode* abil ehk punktid, mille abil soovitakse tasapind luua;
- Seejärel parema hiire nupuga avatakse kontekstimenüü ja valitakse käsu *Copy Fenced to New ModalSpace* (kopeerida valitud punktid uude aknasse).

Käsu täitmise tulemusena viiakse massiivi valitud punktid uude aknasse nimega *Copy of ModalSpace*;

- Siin saab jätkata objektide modelleerimist. Pärast käsuga *Create Object/ Fit Fenced/ Patch* loodud tasandi konstrueerimist saaks selle üle viia algsesse modelleerimisruumi;

Selleks suletakse aken *Copy of ModalSpace*, valides dialoogiboksis *Closing ModalSpace Viewer*;

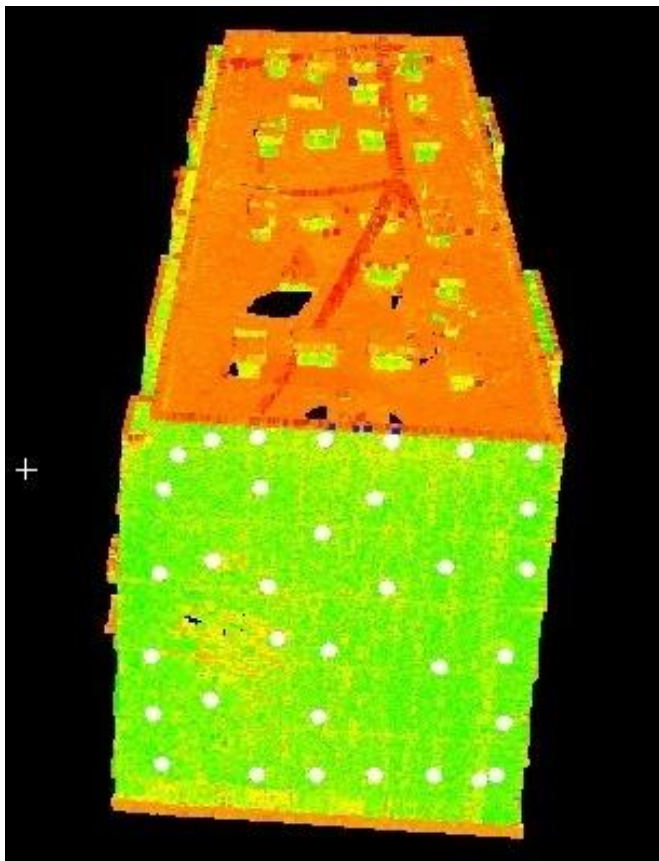
- Lõpus klõpsatakse nuppu *Close* eelneva akna sulgemiseks

3. Interaktiivses režiimis luuakse tasapind kõikide punktide massiivi abil. Käsu *Creat Object/ Insert/ Path* tulemusena ilmub aken, kus saab määrata primitiivi sobivad parameetrid, samuti seda vastavalt vajadusele pöörata ja liigutada [Nevolin, 2012].

Kuna lõputöö eesmärk on hinnata automaatsust, vaadeldakse siinkohal automaatrežiimi. Järgides juhiseid, valitakse töös kasutatud Akadeemia tee 5 asuva hoone punktivilvest hoone ühele seinale ainult üks suvaline punkt, mille järel rakendatakse käsk *Create Object/ Segment Cloud/ Region grow/ Patch*.

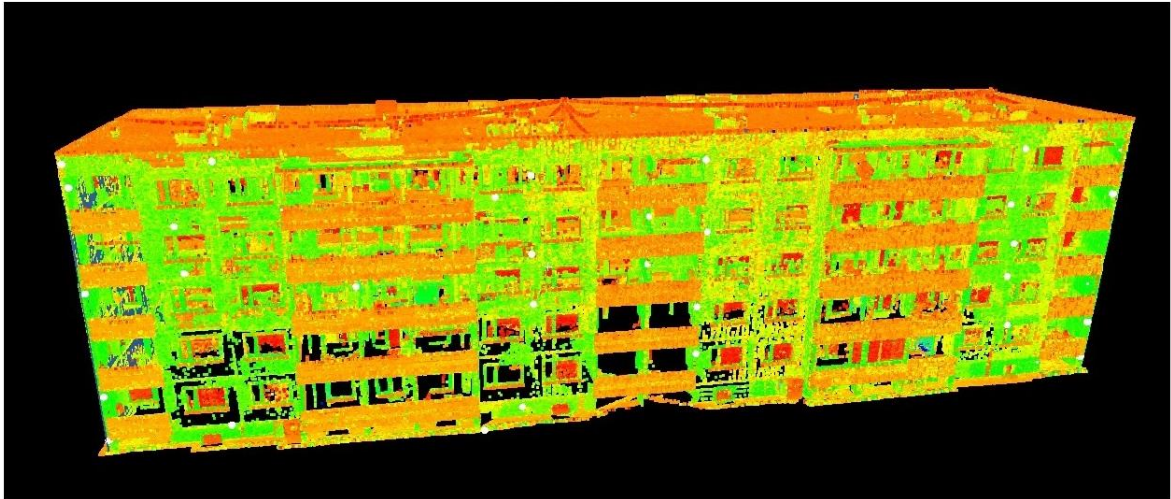
Seejärel pakub tarkvara tasapinna loomiseks automaatseid väärtusi, mida saab enda jaoks vajalikuks muuta, ent selles töös jäetakse nii nagu on pakutud tarkvara poolt.

Kuna tarkvara pakub tasapindade konstrueerimiseks automaatrežiimis kolme erinevat meetodit, vaadeldakse neid kõiki. Esimene on tasapinna konstrueerimine mitme punkti alusel ning teine on ühe punkti järgi. Esimeseks katsetuseks proovitakse valida mitu punkti korraga (vt joonis 15). Punktide valik tehakse tarkvara poolt automaatselt.



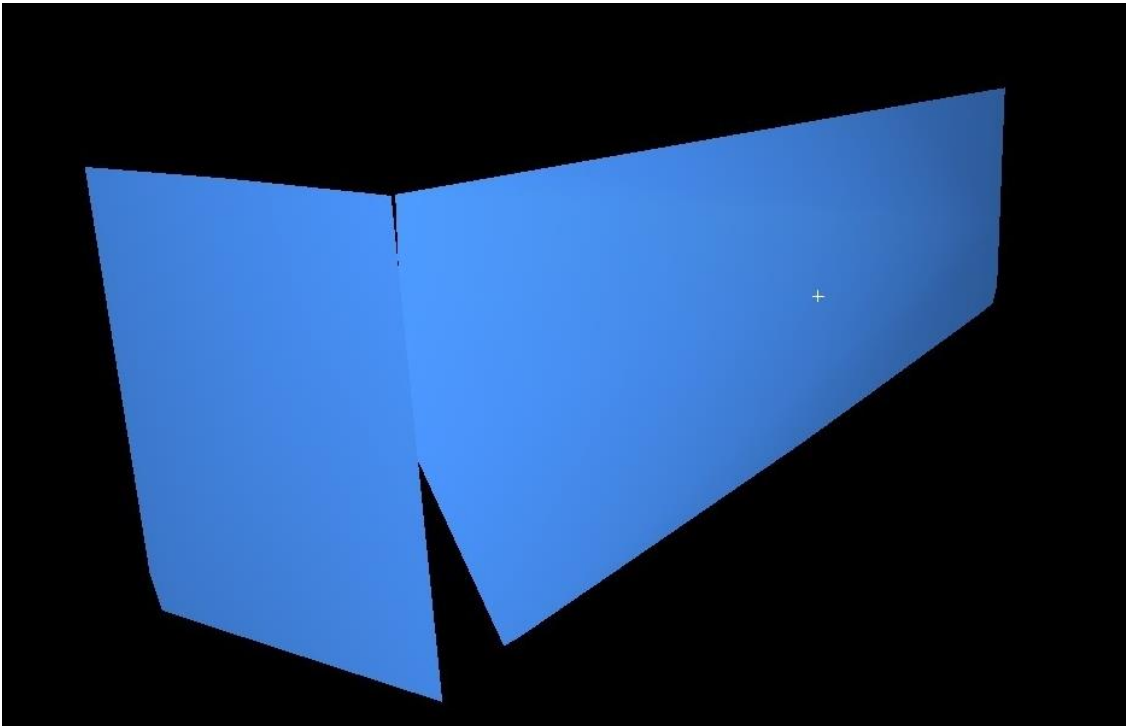
Joonis 15. Automaatrežiimis konstrueeritud külgliseina tasapind mitme punkti alusel. Rohelistes toonides vertikaalsed elemendid, oranžides toonides on horisontaalsed. Valged ringid on tarkvara poolt automaatselt valitud juhuslikud punktid, mille alusel on konstrueeritud tasapind.

Samamoodi konstrueeritakse hoone esisein (vt joonis 16).



Joonis 16. Automaatrežiimis konstrueeritud esiseina tasapind mitme punkti alusel. Rohelise tooniga on näidatud vertikaalsed elemendid, oranžid toonid on horisontaalsed. Oranži tooniga näidatud ka rõdu piirid ja akendes paistev esisein, mis teeb joonise veidi kirjuks ja raskesti loetavaks. Valged ringid (väga halvasti näha, aga need asuvad nendes kohtades, kus roheline osa) näitavad valitud punktide asukohti, mille alusel on konstrueeritud tasapind.

Joonisel 17 on kujutatud uus mudeli vaade, kui punktipilve kuvar on välja lülitatud, nähtavad on ainult tasapinnad.

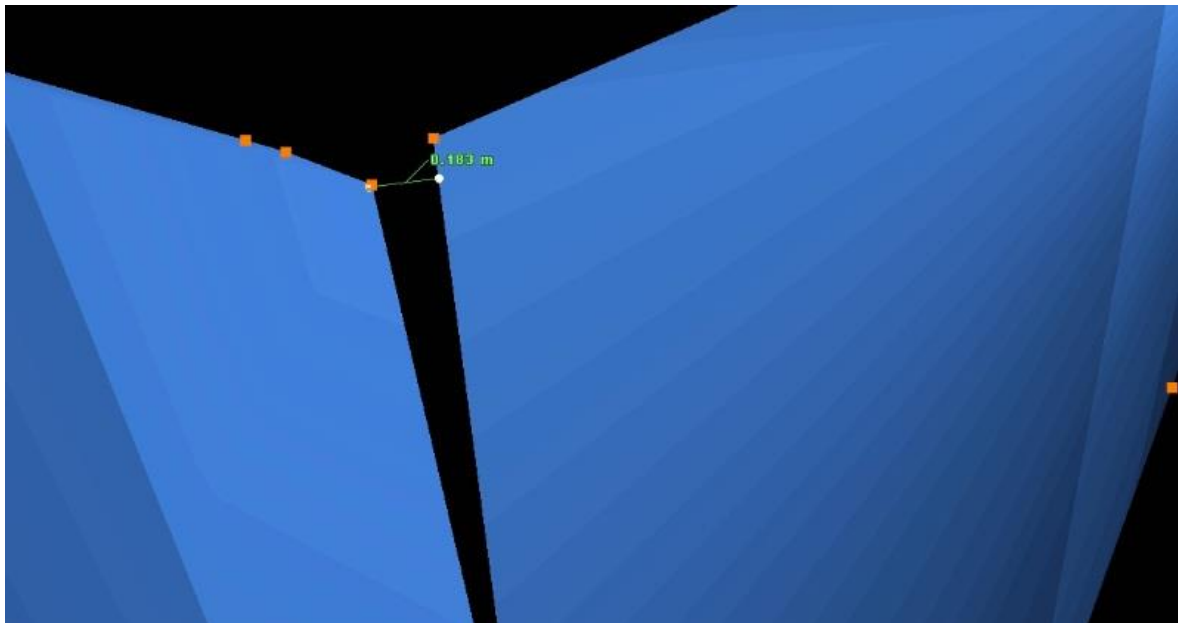


Joonis 17. Automaatrežiimis loodud vertikaalsed tasapinnad ilma punktipilveta konstrueerituna mitme punkti alusel. Kokkupuutekohas alumises osas suur tühi kolmnurk, millel tasapinnad ei lõiku. Samas on osaline tasapind korrektne.

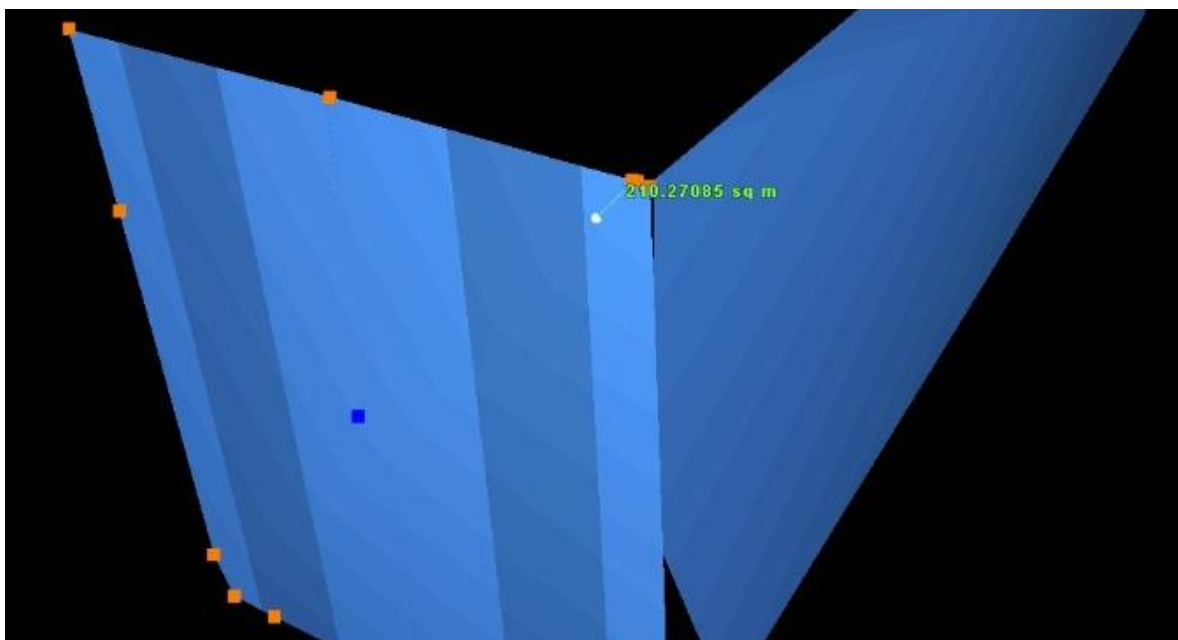
Võib järeldada, et Leica Cyclone´ s mitme punkti valimise konstrueerimine ei ole parema kvaliteediga meetod. Lõputulemuses on vaja teha palju käsitsi tööd, see aeglustab protsessi ja muudab töö poolautomaatseks. Siiski on lihtsam täielikult käsitsi teha vertikaalse tasapinna konstrueerimist.

Mitme punkti alusel loodud tasapindade täpsuse analüüsimiseks kasutatakse kauguste ja muude meetriliste omaduste mõõtmiseks standardseid tarkvara tööriistu.

Kahe tasapinna, külgeina ja tagaseina vaheline kaugus on 18 cm (vt joonis 18). Samas ei ole see vahemaa ühtne terves kokkupuutepinnas. Järgmisena valitakse külgeina tasapinna ja mõõdetakse pindala (vt joonis 19).

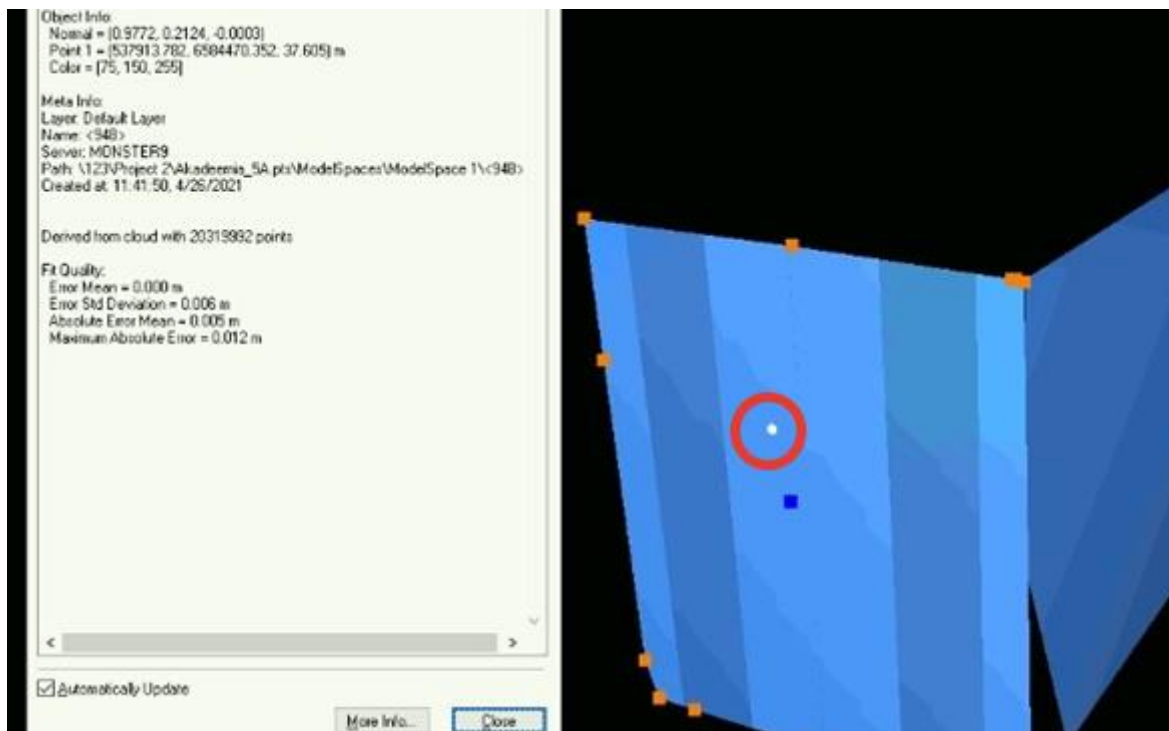


Joonis 18. Vea suurus kahe tasapinna moodustamisel. Viga on 0,18 m ehk 18 cm.



Joonis 19. Külgeina pindala tarkvaras Leica Cyclone. On mõõdetud külgeina tasapinna pindala, mis on 210, 27 m².

Moodustatud tasapindade kohta on joonistel 20 ja 21 toodud ka tulemused, erinevad tasapinna näitajad, mis on koondatud tabelisse 4.



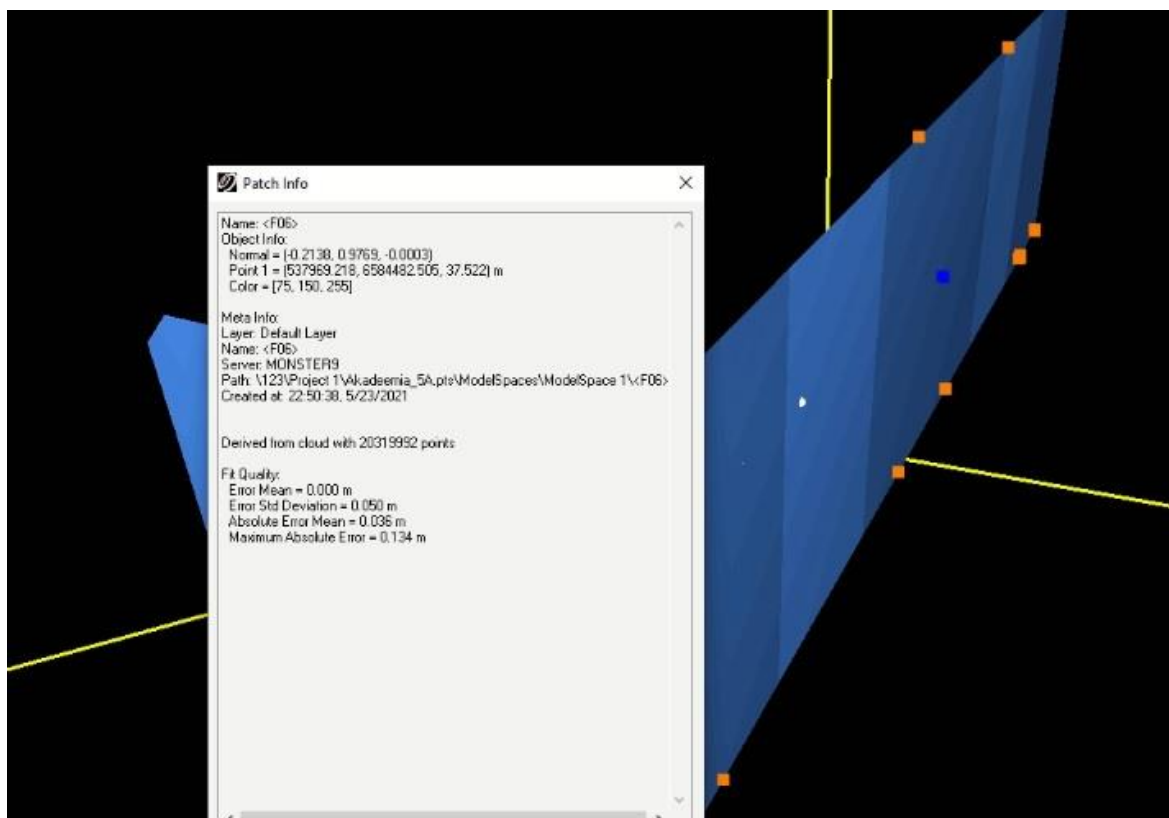
Joonis 20. Otsaseina kujutava tasapinna informatsioon. Külgeina tasapinna informatsioon toodud tarkvara poolt. Külgeina tsepter on sinine nelinurk. Nullpunkt on valge täppike punase ringi sees.

Kui üks nurk seinast ei tulnud kokku, siis viga on osaline. See viga tekib, kui sein moodustamiseks on all vähem punkte kui üleval ja tarkvara ei oska seda lugeda seinapinnaks. Näiteks all on rõdu, mille punktid seisavad sein punktidest natuke eemal ning tarkvara ei lugenud neid punkte sein punktideks ja jättis tühja koha. Joonisel näidatud pinnanormaal on sirge, mis ristub nullpunktiga vastavalt puutujatasandiga. Sein nullpunkti koordinaadid on antud L-EST süsteemis ja BK77 kõrgustena.

Tabel 4. Otsaseina kujutava tasapinna saadud tulemused.

Pinnanormaal	(0,9772; 0,2124; -0,0003)
Erinevus vertikaalist	0,0003m
Seina nullpunkti koordinaadid	(537912,782; 6584470,352; 37,605)m
Keskmine viga	0,000 m
Standardhälve	0,006 m
Absoluutne viga	0,005 m
Maksimaalne absoluutviga	0,012 m
Külgeina pindala	210,27 m ²
Kasutatud punktid	10421 tk

Võetakse informatsiooni konstrueeritud esiseina tasapinna kohta (vt joonis 21).



Joonis 21. Esiseina tasapinna vigade ülevaade. Kahe seina tasapinna konstrueerimiseks oli kasutatud 20 319 992 punkti. Programm annab pinnanormaali väärtuse, millest saab järeldada seina vertikaalsuse. Programm annab ka seina nullpunkti, joonisel näidatud valge punktiga, mis saadakse L-EST koordinaatsüsteemis ja BK77 kõrguses, st hoone on koordineeritud oma õiges asupaigas.

Tulemused on toodud tabelisse 5.

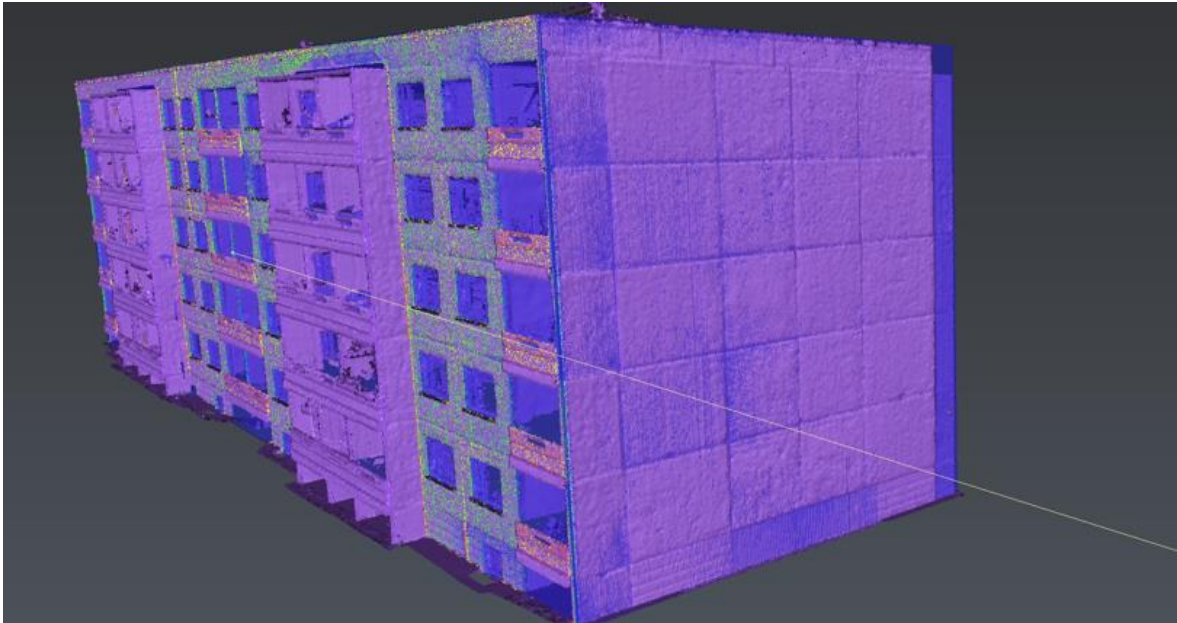
Tabel 5. Esiseina kujutava tasapinna saadud tulemused.

Pinnanormaal	(-0,2138; 0,97769; -0,0003)
Erinevus vertikaalist	0,0003m
Seina nullpunkti koordinaadid	(537969,218; 6584482,505; 37,522) m
Keskmine viga	0,000 m
Standardhälve	0,050 m
Absoluutne viga	0,036 m
Maksimaalne absoluutviga	0,134 m

Uurimiseks tehti tarkvaras erinevaid katsetusi kahe meetoditega, et neid võrrelda ja leida parim viis automaatselt tasapindade konstrueerimiseks.

Järgmisena kasutatakse teist meetodit (tasapinna loomine ühe punkti järgi), mis on rohkem seotud töö eesmärgiga. Punkt pilve seinal näidatakse ühe klikiga soovituslik tasapinna osa (üks punkt), mille alusel tarkvara võtab arvesse kõik punktid, mis

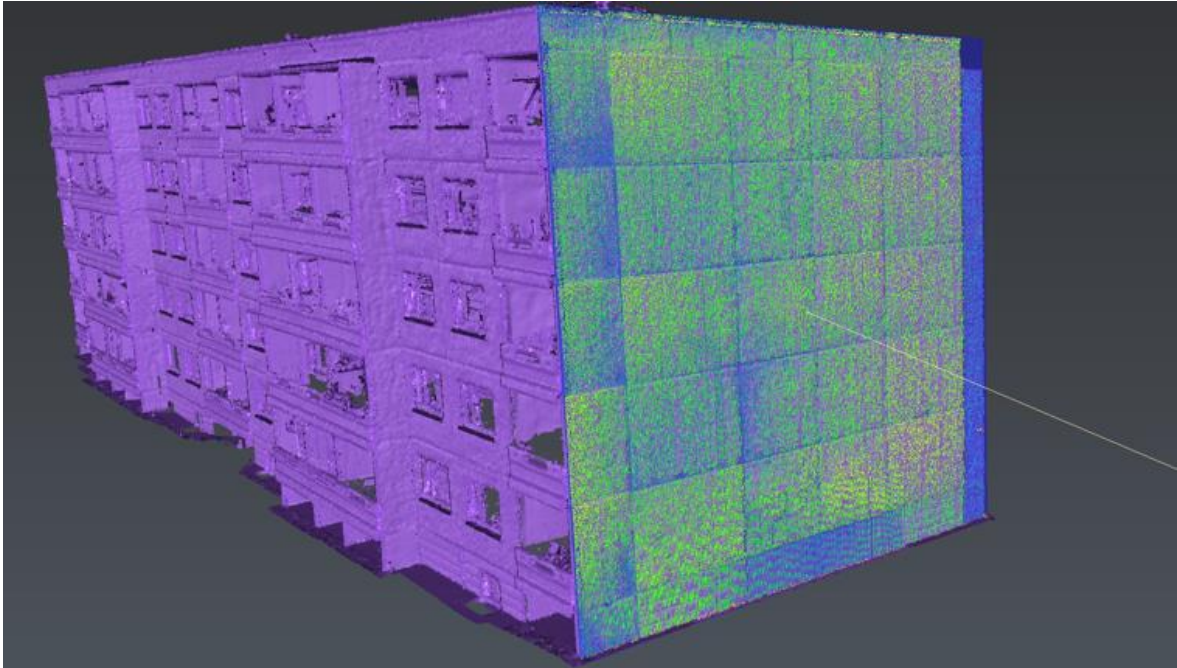
seisavad ühel tasandil ja konstrueerib tasapinna. Joonisel 22 on näidatud ühe punktiga valitud esiseina tasapind.



Joonis 22. Esiseina tasapinna valimine ühe punkti järgi. Joon võtab aluse valitud punktist konstrueerimiseks. Paremalt on jäänud eelmisest näitest sinise värviga külgeina tasapind. Seda ei võetaks arvesse, kuna pärast tehakse uue külgeina tasapinna ühe punkti meetodi järgi.

Selle tasapinna konstrueerimiseks kasutatakse 740762 punkti. Lilla värv on kasutatud punktipilve jaoks. Rohelistes ja kollastes värvides on näidatud punktid punktipilvest tasapinna konstrueerimiseks.

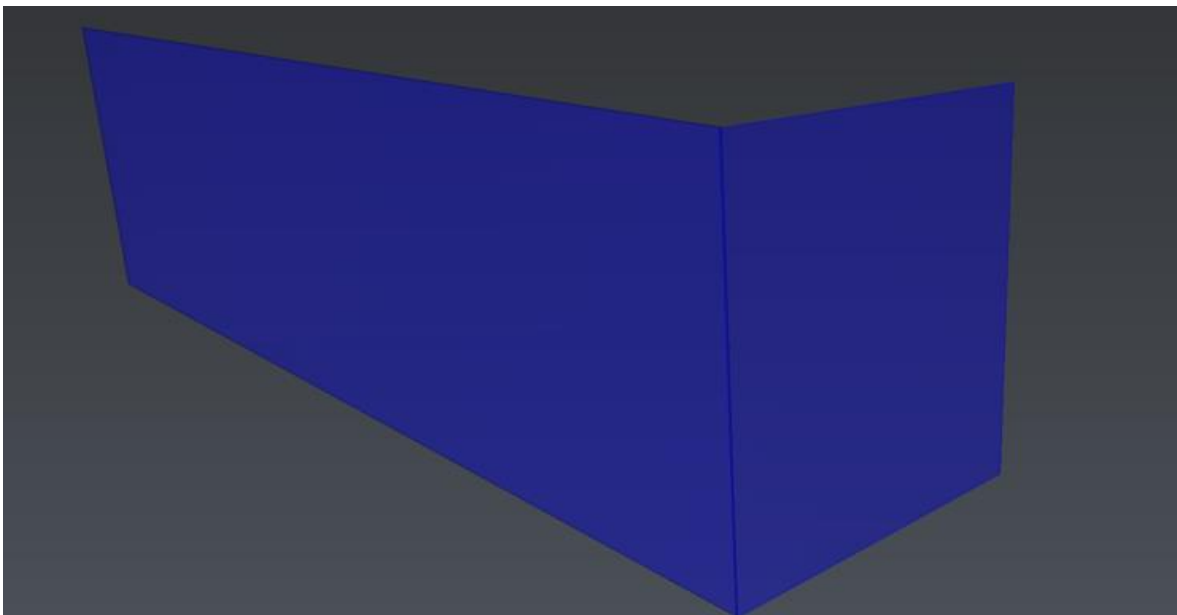
Samal meetodil konstrueeritakse ka külgeinale tasapind. Ühe klikiga valitakse külgeina tsesse üs punkt (eeldatavalt seina punkt) ja tarkvara võtab selle punkti ning kõik punktid, mis on valitud punktiga ühel tasandil ning konstrueerib tasapinna, lõplikuks konstrueerimiseks on vaja kasutada nuppu „Ok, next“ (vt joonis 23).



Joonis 23. Külgseina tasapinna valimine kõikide punktide järgi. Rohelises toonis on näidatud need punktid, mida kasutati tasapinna konstrueerimiseks. Lõpuks sinine nelinurk on konstrueeritud külgseina tasapind.

Valitud on 358719 punkti külgseina tasapinna konstrueerimiseks. Ühe klikiga joonistaja valib seina (ühe punkti), mida on vaja konstrueerida. Pärast tarkvara valib kõik punktid, mis on kuuluvad sellele seinale.

Edasi lülitatakse sisse esiseina tasapind ja välja kasutatud punktipilv, tulemus on näidatud joonisel 24.



Joonis 24. Esiseina ja külgseina tasapinnad ilma punktipilveta. Kaks tasapinda (sinise värviga) lõikuvad kokku kogu pikkuses ja on terviklikud.

Kaks sellist tasapinda oli konstrueeritud viimase vaadeldud meetodiga, ühe punkti järgi. Täpsemalt, ühe punktiga näidati tasapinna punkt, mida sooviti konstrueerida. Edasi tarkvara ise valis kaasnevad konstrueerimise punktid. Mõõdetakse ka esiseina tasapinna ja külgeina tasapinna pindalad. Konstrueeritud esiseina tasapinna pindala on 899,91 m². Konstrueeritud külgeina tasapind on 299,46 m².

Esimese meetodi järgi (mitme punktide alusel) oli konstrueeritud külgeina ja esiseina tasapinnad, mis ei olnud terviklikud ja tekkisid tühjad kolmikud. Tulemust võis mõjutada punktide valimise protsess ja tarkvara punktide analüüs. Näiteks, rõdudele kuuluvaid punkte ei pea arvesse võtma seina konstrueerimiseks, kui punktid ei asu ühel tasandil seinale kuuluvate punktidega.

Teine konstrueerimise meetod (ühe punkti järgi) sobib kõige paremini töö eesmärgi saavutamiseks, kuna protsess on automaatne ja saadud lõputulemus sobib edasiseks võrdlemiseks ja uurimiseks.

Esiseina tasapinna saadud tulemused on näidatud tabelis 6. Külgeina tasapinna saadud tulemused on viidud tabelisse 7.

Tabel 6. Esiseina tasapinna saadud tulemused.

Pinnanormaal	(-0,21311; 0,97703; -0,0009)
Erinevus vertikaalist	0,0003m
Seina nullpunkti koordinaadid	(537941,466; 6584476,426; 29,752) m
Keskmine viga	0,000 m
Standardhälve	0,049 m
Absoluutne viga	0,031 m
Maksimaalne absoluutviga	0,130 m
Esiseina pindala	899,91 m ²
Kasutatud punktid	740762 tk

Tabel 7. Külgeina tasapinna saadud tulemused.

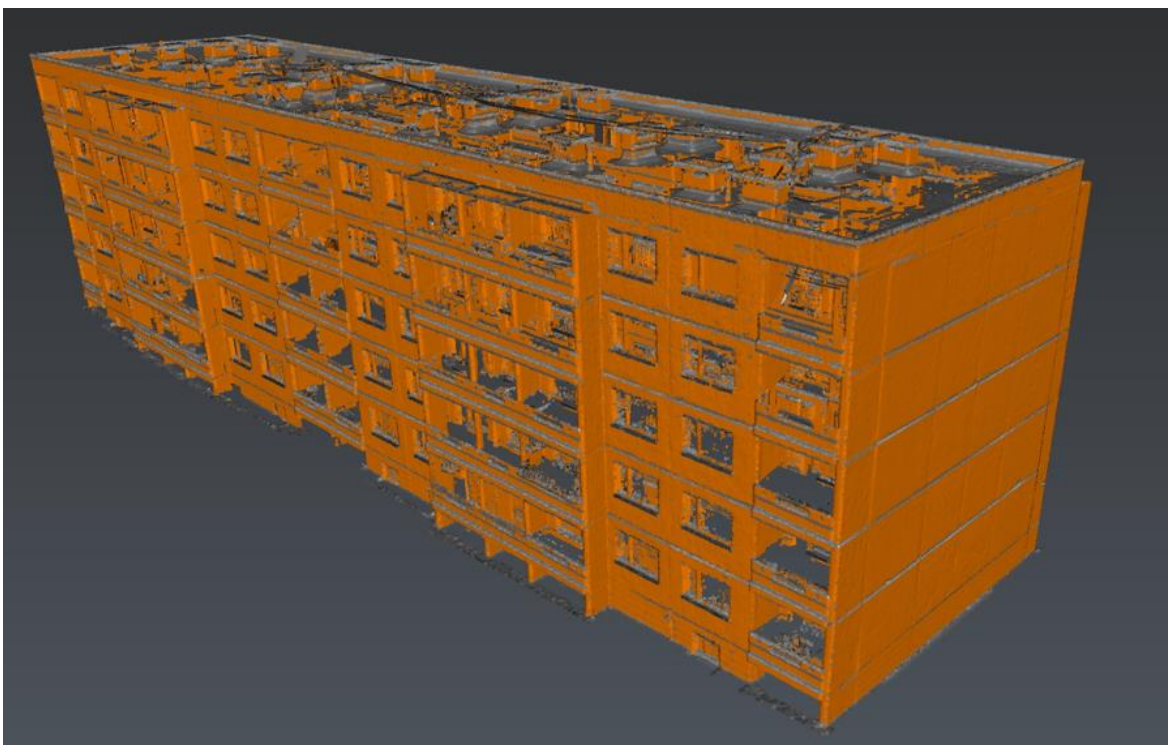
Pinnanormaal	(0,9771; 0,2128; -0,00002)
Erinevus vertikaalist	0,0003m
Seina nullpunkti koordinaadid	(537967,682; 6584489,500; 29,740)m
Keskmine viga	0,000 m
Standardhälve	0,004 m
Absoluutne viga	0,003 m
Maksimaalne absoluutviga	0,010 m
Külgeina pindala	229,46 m ²
Kasutatud punktid	358719 tk

Tasapindade konstrueerimisel saadud tulemused, mis on pandud tabelitesse 6 ja 7, kasutakse analüüsimiseks ja võrdlemiseks jaotises 4.3.

Selle töö raames tehakse ka uuringus kasutatud punktipilve ja konstrueeritud tasapindade vaheline võrdlus histogrammi alusel. Joonised ja vastav võrdlus on toodud jaotises 4.3.

Lisaks, tarkvara Leica Cyclone pakub ka võimaluse teha terveist punktipilvest automaatse seinade konstrueerimise. Töö raames selle meetodi ka proovitakse ja tulemus on näidatud joonisel 25, aga uurimiseks ei ole võetud.

Pärast punktipilve alla laadimist valitakse „*Cloud Smart Filter*” ja tööriistu „*Walls and Floors*”. Tarkvara konstrueerib terveist punktipilvest automaatsed tasapinnad, mis kuuluvad horisontaalsete ja vertikaalsete tasapindade juures. Pärast valitakse ainult seinade tasapinnad.



Joonis 25. Automaatne seinade konstrueerimine terveist punktipilvest. Oranži värviga on näidatud seinade tasapinnad ja halli värviga punktipilv. Konstrueerimiseks on välja valitud kõik punktid, mis asuvad vertikaalses suunas. Paremal pool külgeinas on näha hallid jooned, mis satuvad külgeina tasapinna alla, aga tarkvara valikus need moodustavad horisontaalsed jooned.

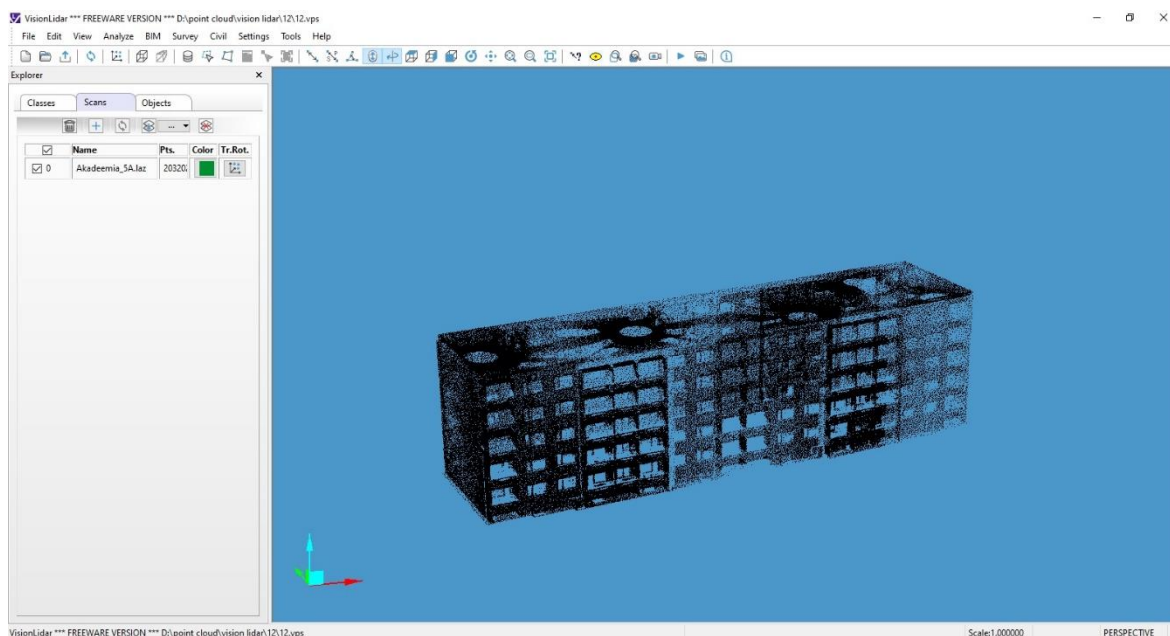
Käesoleva töö raames ei analüüsita selliselt konstrueeritud seinu, vajalikke seinu mudelist eraldama ei hakata. Samas on see hea võimalus edasise analüüsi jaoks ning suur eelis, et Leica Cyclone tarkvara pakub sellist võimalust. Kui teha kindlaks, et tarkvara konstrueerib sellised tasapinnad väikeste vigadega, siis saaks paari käsuga vajalikud seinad välja valida ja need oma mudelisse lisada.

Leica Cyclone tarkvaras tehtud toimingute tulemuste põhjal saab järeldada, et programmil on lai valik funktsioone ja tööriistu, mis võimaldab teha paljusid toimingud ka automaat- või poolautomaatrežiimides, mis on väga mugav. See tarkvara annab võimaluse teha samasugust tööd erineval viisil, lõpptulemusi saab võrrelda.

4.2 Vision Lidar

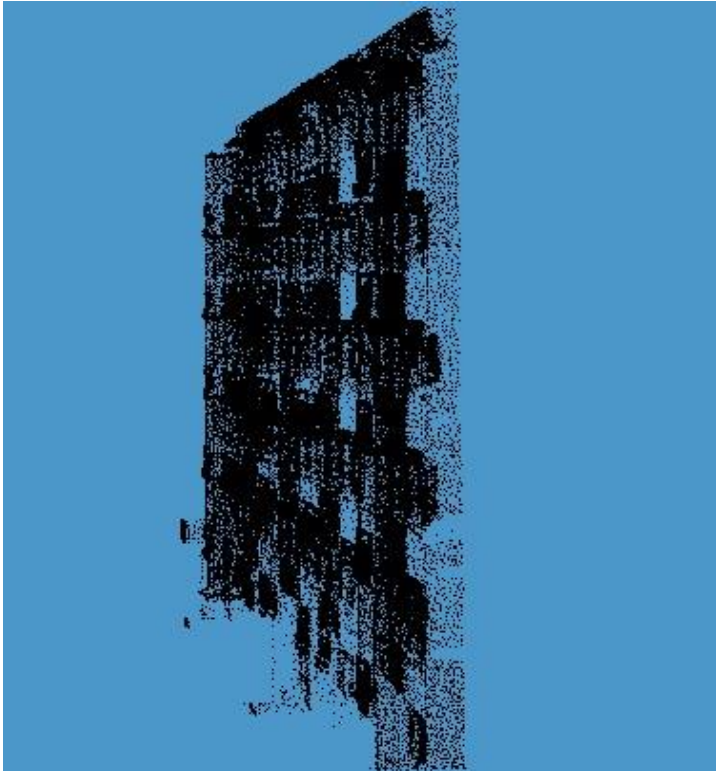
Vision Lidar programmi kasutamiseks laeti alla 2021 versioon, mis võimaldab valida punktipilve osi tänu sise- või välispiiritlesele. Valiku saab salvestada ja kasutada erinevaid tööriistu nagu redigeerimine, kustutamine, eksportimine, segmenteerimine, klassifitseerimine, pinnaanalüüs ning silindrite ja plaanide tuvastamine. Samuti on võimalik eksportida punktipilv .e57, .las, .laz, ja .pts formaati.

Esialgne puhastamata Akadeemia tee 5A punktipilv avati programmis Vision Lidar (vt joonis 26). Punktipilv on eelnevalt teisendatud .e57 formaati tarkvara ReCap abil.



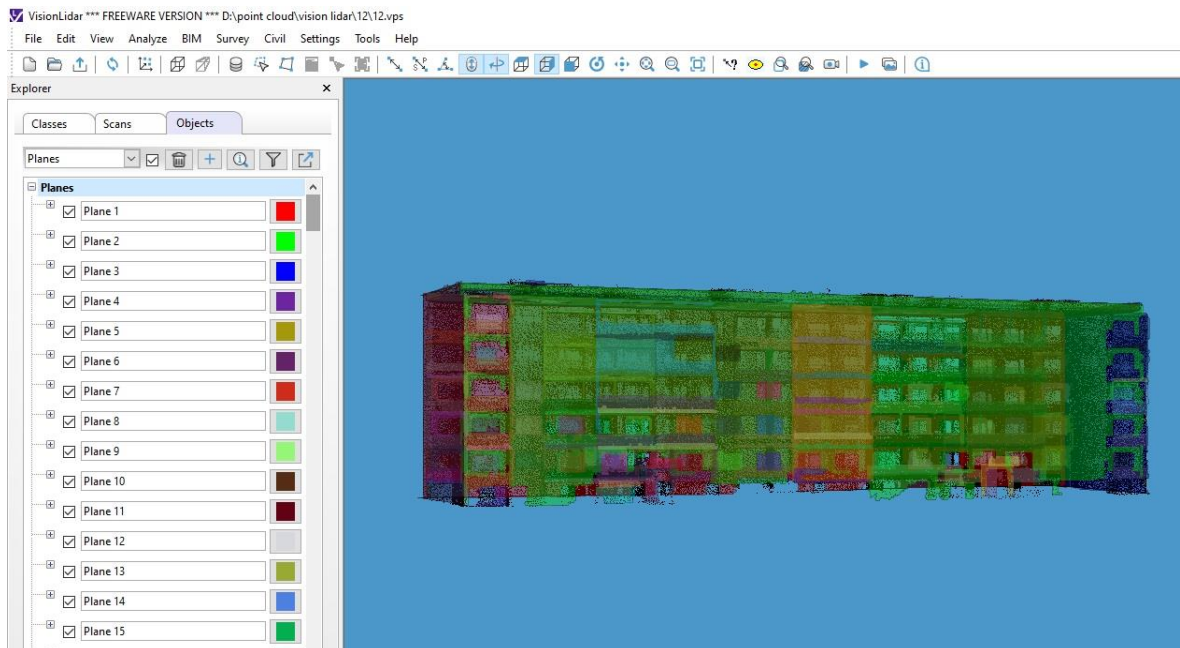
Joonis 26. Punktipilv Vision Lidaris. On näidatud 3D-vaade punktipilvest. Selgelt tulevad välja ringid, mis näitavad laserskaneerimise seadme asukohti. Punktipilve tiheduse põhjal on võimalik kindlaks teha, kus on uuritav objekt mõõdistatud suurema täpsusega. Mida rohkem musti punkte, seda suurem on selle koha punktide tihedus ja punktid on väga lähedal teineteisele.

Valimistöõriista abil valiti ainult ühe seina punktid ja konfigureeriti ainult valitud punktide kuvamine (vt joonis 27). See võtab paar minutit aega ja väga lihtne kasutada.



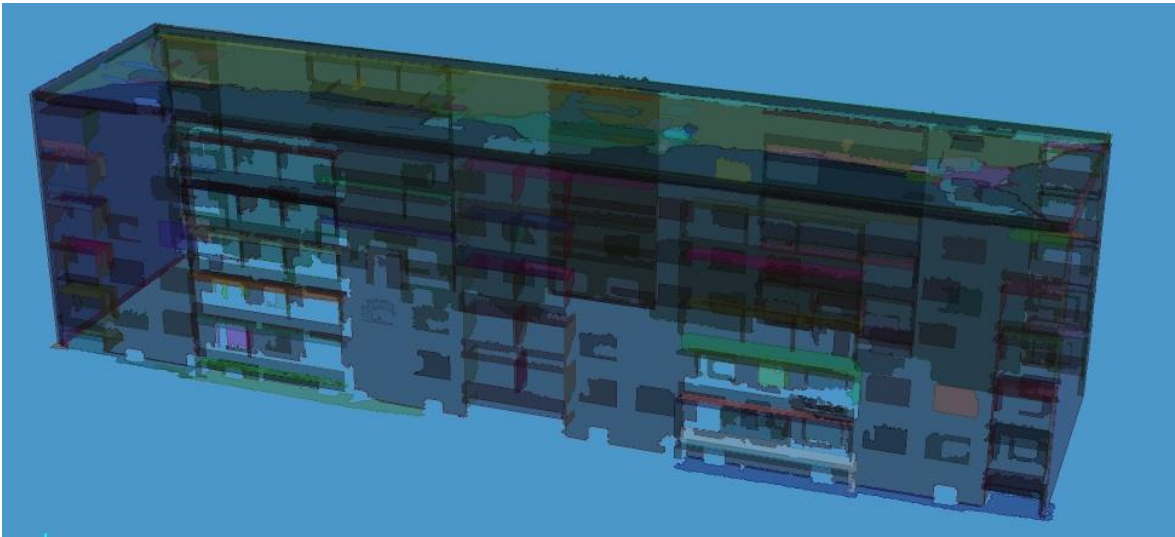
Joonis 27. Valitud punktide kuvamine. Hoone esisein. Kohtades, kus punktid hoone keskel puuduvad või on hõredalt (sinine toon kumab läbi), seal võib eristada aknaid.

Tööriista *Planes* abil saab programmis pilvest valida palju tasapindu (vt joonis 28). Kogu hoone peale leiti kokku 299 tasapinda, millest igaüks oli programmi poolt valitud erinevas värvitoonis.



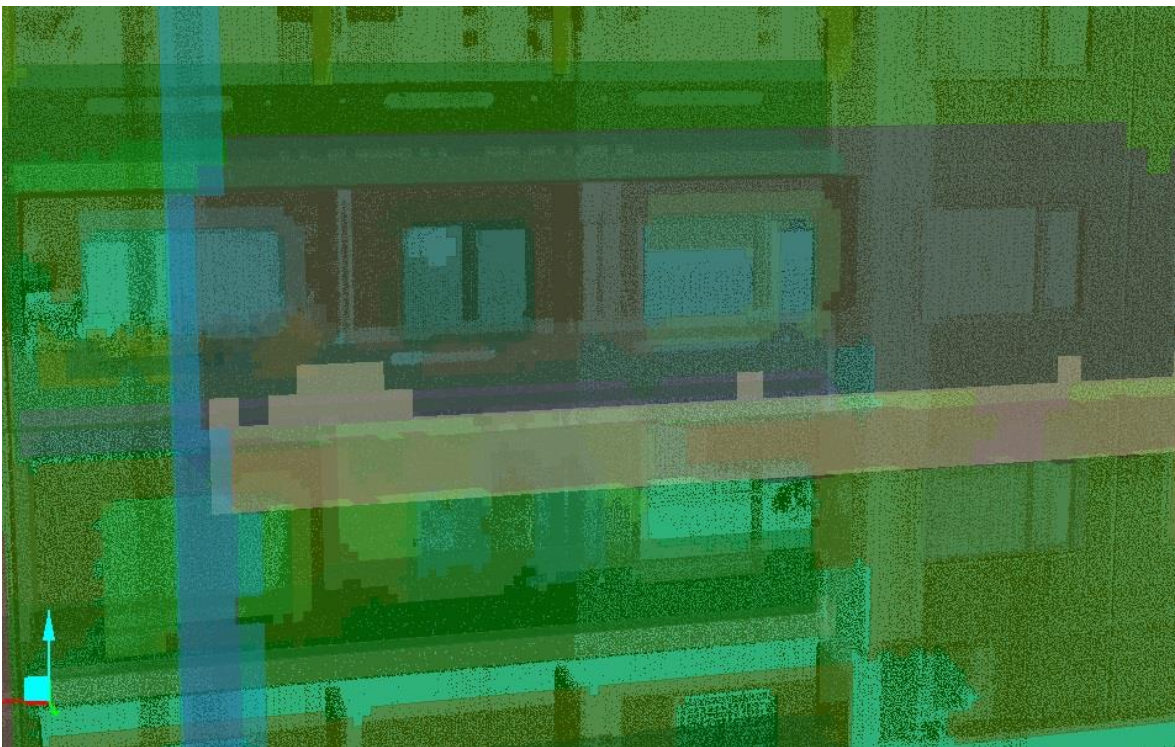
Joonis 28. Automaatne tasapindade valik. Vasakul on menüü erinevate tasapindade nimetuste ja värvidega, paremal hoone kujutis, kus kõik tasapinnad on erinevates värvitoonides esitatud.

Joonisel 29 on esitatud tasapinnad ilma punktipilveta.

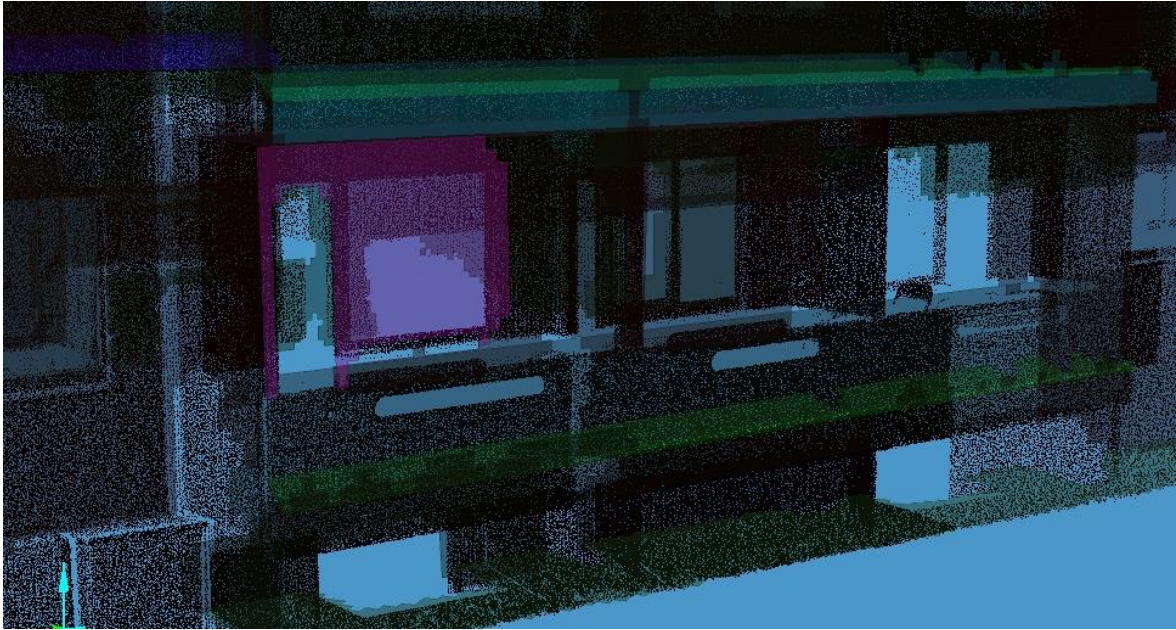


Joonis 29. Automaatselt konstrueeritud tasapinnad ilma punktipilveta. On näidatud kõik tasapinnad, mida tarkvara automaatselt konstrueerib. Tasapinnad kuvatakse üksteise peale ning joonisest arusaamine on väga keeruline. Sellist tulemust on raske kasutada ning käsitsi valimine võtab palju aega.

Joonistel 30 ja 31 on toodud tasapindade kuvamine suurendatult. Sellised pildid on väga raskesti arusaadavad.

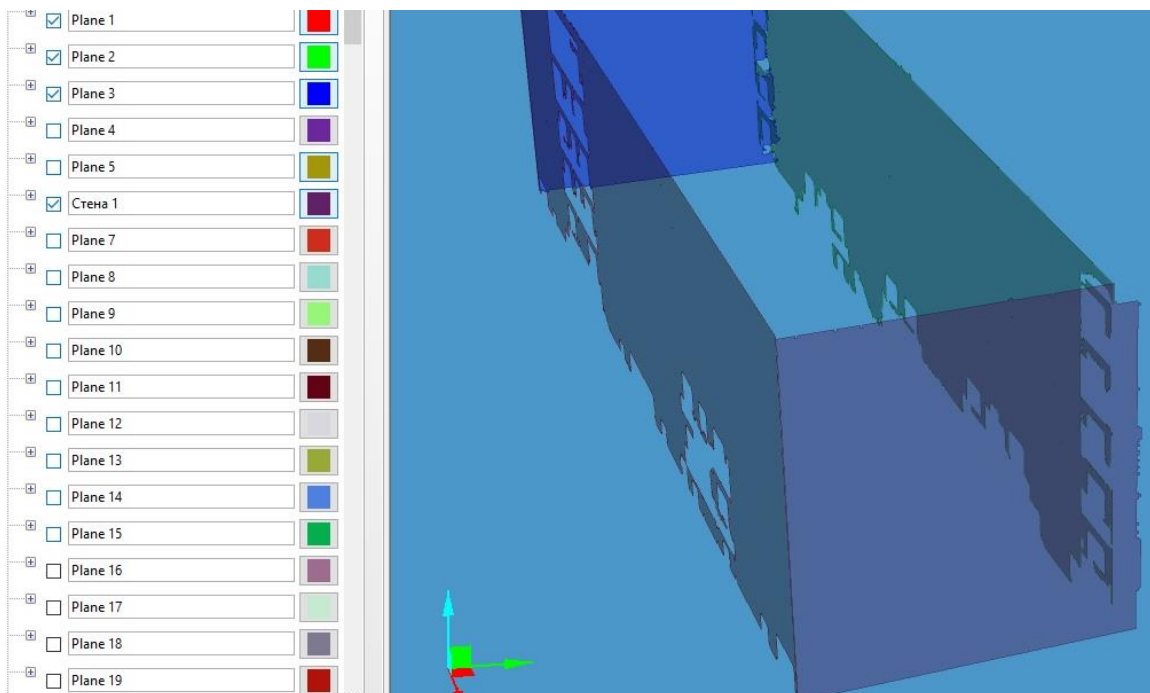


Joonis 30. Tasapindade detailsus. Erinevad tasapinnad lõikuvad kokku ja kui vaadata kogu hoonet koos, siis ei ole aru saada, mida on kujutatud.



Joonis 31. Tasapinna detailsus (aknad ja rõdud). Musta värviga on näidatud punktipilv, ning erinevad värvid, nagu lilla, roheline, sinine, hall, on kasutatud erinevate tasapindade puhul.

Tasapindade moodustamiseks kasutati kõik vajalikud punktid, ent siiski on need ebatäpsed. Aga horisontaalsed ja vertikaalsed piirid on väga sirged ja kindlad. Parema tulemuse saamiseks võiks olla õigem punktipilve eelnev töötlemine, selle puhastamine müra-st. Tasapindade loendist (vt joonis 28) saab otsida vajamineva tasapinna, lülitada välja ja sisse vastavaid märkeruute tasapindade peitmiseks või kuvamiseks. Vision Lidar tarkvaras kuvatakse neli tasapinda korraga joonisel 32.



Joonis 32. Neli vertikaaltasapinda – neli seina. Vasakul on näidatud aken, kus saab vaadata iga tasapinna kuuluva värvi. Praegu on sisse lülitatud ainult nelja seina tasapinna.

Moodustatud seinte tasapinnad lähevad korrektselt omavahel kokku. Samal ajal, hoone esi- ja tagaseinas on avaused ilmselt akende ja rõdude asukohtades. Sellest saab järeldada seda, et joonise järgi otsustades ei ole paikne avaused päris täpselt, kuna neid ei saa kasutada akende ja rõdude täieliku paigutuse tuvastamiseks.

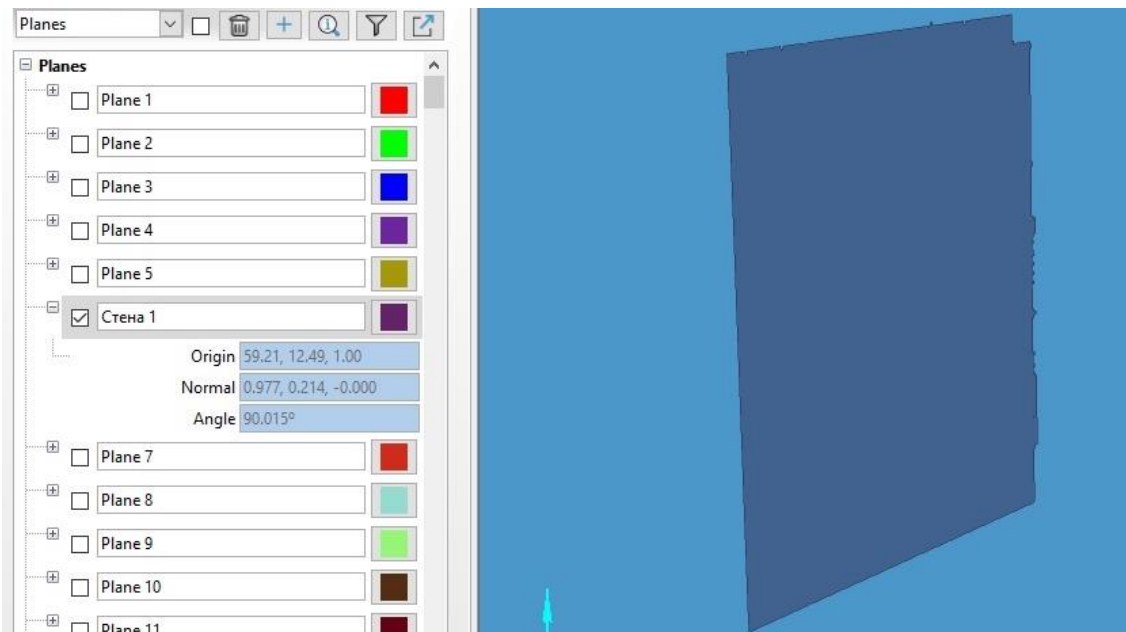
Automaatset konstrueerimist kõikide nelja tasapinna kohta töös edasi ei kasutata, eraldi konstrueeritakse külgeina ja esiseina tasapinnad.

Seega, hetkel lülitakse välja automaatselt konstrueeritud neli tasapinda ja valitakse uuesti kogu punktipilv. Punktipilvest valitakse ainult hoone külgeina punktid, millest edasi konstrueeritakse külgeina tasapind (vt joonis 33,34).



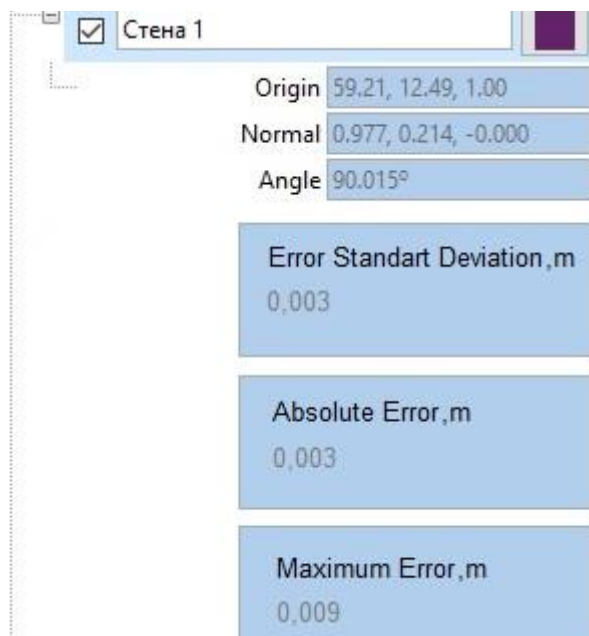
Joonis 33. Valitud punktid külgeina tasapinna konstrueerimiseks. Valitud hoone külgeina kuvamine on läbipaistva lilla tooniga.

Kasutaja näitab tarkvaras seina, mille järgi on vaja konstrueerida tasapinda ja programmi poolt valitakse välja vastavad punktid. Joonisel 33 külgeina tasapinna puhul on alumises servas näha, et mõned punktid jäid välja, mis tähendab, et konstrueerimisel ei võeta müra arvesse. Pärast konstrueerimist jäädvustatakse ainult külgeina tasapind ja lülitakse välja punktipilv (vt joonis 34).



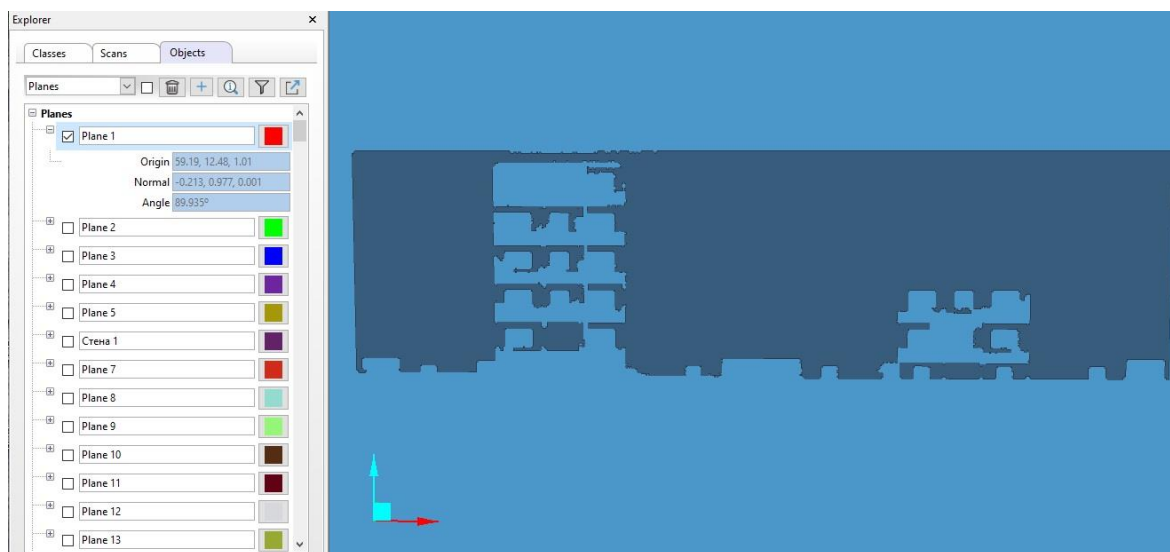
Joonis 34. Hoone külgeina tasapind on ilma punktipilveta. Vasakul on näidatud kplseina tasapinna parameetrid. Konstrueeritud külgeina tasapind on tähistatud lillaga, kuid sinisel taustal on seda raske näha. Tasapind ei ole paremalt poolt ideaalselt sirge.

Edasi valitakse tekkinud tasapind välja käsuga crop, et seda saaks võrrelda teises programmis (Leica Cyclone) sama seina kohta koostatud tasapinnaga. Võetakse arvesse ka need tulemused, mida pakub tarkvara konstrueeritud tasapinna jaoks (vt joonis 35).



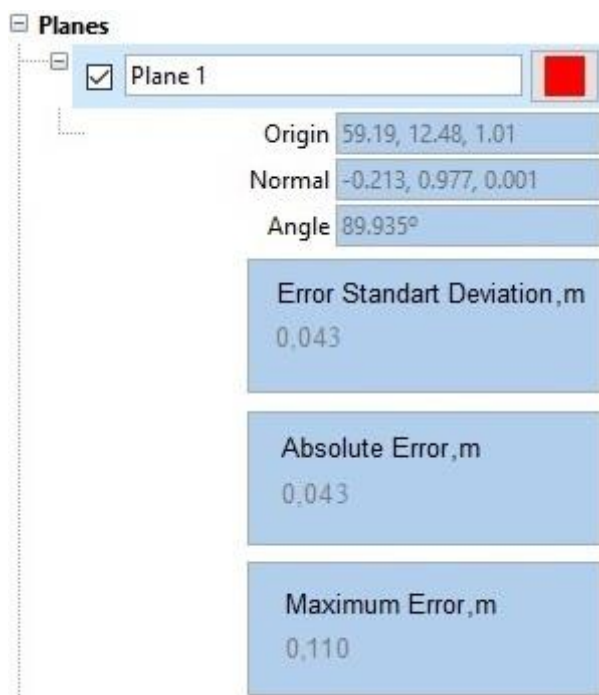
Joonis 35. Hoone külgeina tasapinna konstrueerimisel tekkinud vead punktipilve suhtes. Seina nullpunkti koordinaadid on mudeli süsteemis. Nullpunkt on selles programmis valitud vaikumisi. Kuna z (võetakse pinnanormaali väärtusest) on võrdne nulliga, siis pinnanormaal on sirge, mis ristub vaadeldavas punktis vastavalt puutujatasandiga. Kaldenurk horisontaalpinna suhtes on nurk, mis iseloomustab tõusu väärtust nurgaühikutes ehk kraadides. Saadud tulemused on kajastatud tabelis 8 (lk 58).

Edasi konstrueeritakse sama meetodiga esiseina tasapind. Valitakse huvipakkuv sein, tarkvara valib vajalikud punktid ja tasapind konstrueeritakse automaatselt (vt joonis 36).



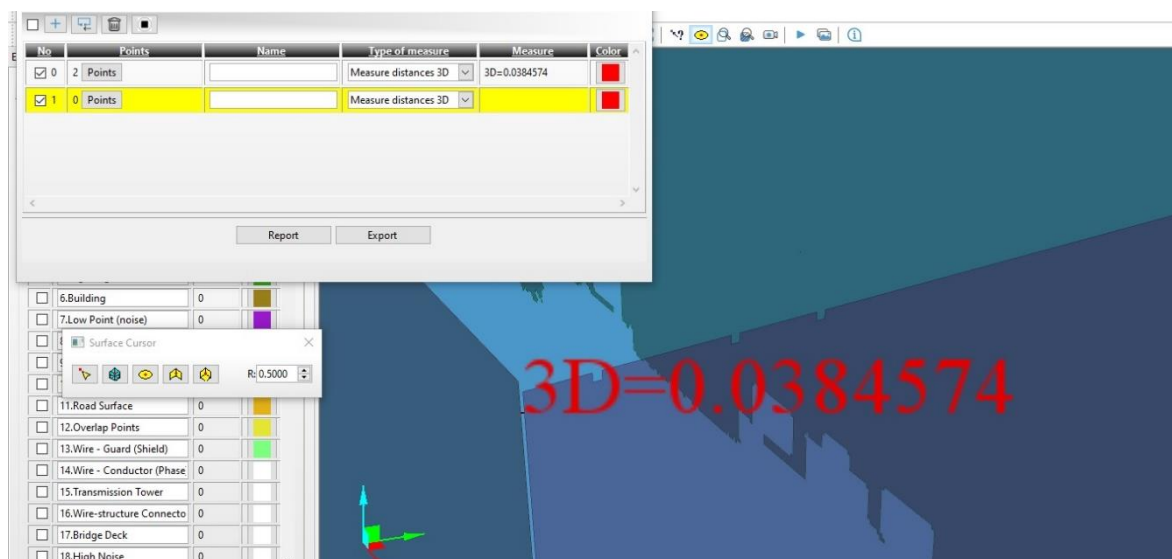
Joonis 36. Esiseina tasapind. Vasakul pool on toodud parameetrid, millised annab tarkvara esiseina tasapinna kohta.

Edasi valitakse esiseina tasapind käsuga *crop* võrdluseks teises programmis konstrueeritud tasapinnaga. Seina nullpunkti koordinaadid on mudeli süsteemis. Selles programmis nullpunkt on valitud vaikimisi. Mõõdetakse ka esiseina tasapinna pindala 886,54 m². Näidatakse joonisel 37 esiseina tasapinna tekkinud vead.



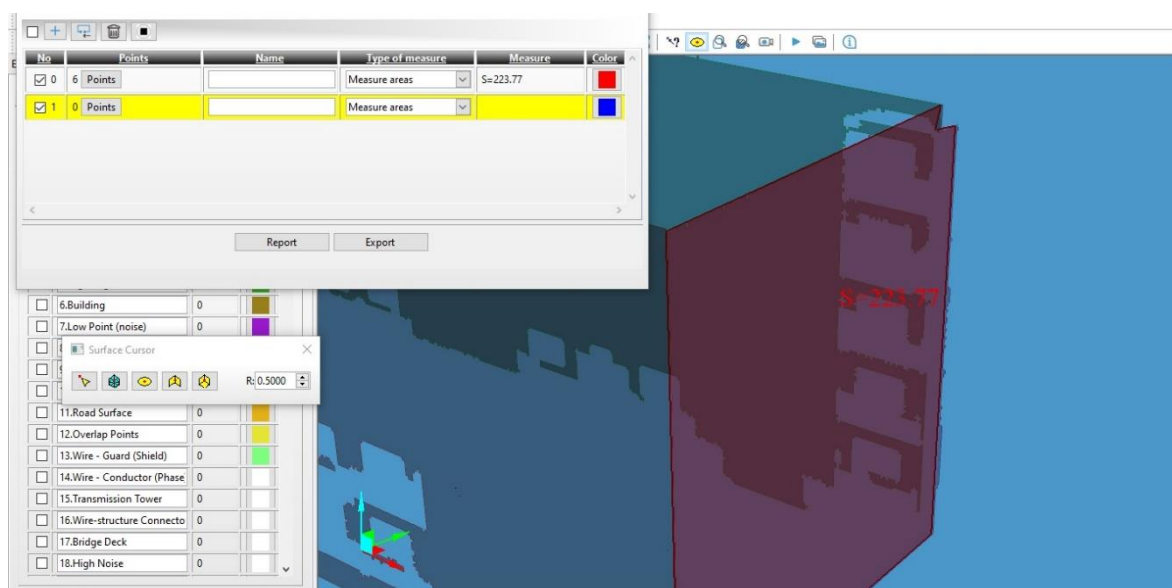
Joonis 37. Esiseina konstrueerimisel tekkinud vead. Kui z (pinnanormaali väärtusest võetud) on lähedane nulliga, siis pinnanormaal on sirge, mis ristub vaadeldavas punktis vastavalt puutujatasandiga. Saadud tulemused on toodud tabelis 9 (lk 58).

Tarkvaras on tööriistad kauguste ja muude parameetrite mõõtmiseks. Tasapindade automaatse loomise kvaliteedi analüüsimiseks mõõdetakse kahe seina vaheline nurk. (vt Joonis 38).



Joonis 38. Tasapindade konstrueerimisel ilmunud vea suurus. 3D tähendab, et mõõtmine toimub kolmemõõtmelises ruumis, mitte ühel tasapinnal. Vea suurus on 0,038 m. Viga on 0,04 meetrit ehk 4 sentimeetrit.

Mõõdetakse ka külgliseina pindala, 223,77 ruutmeetrit (vt joonis 39). Kui sama seina pindala võrreldakse eelnevalt kirjeldatud programmis (229,46 ruutmeetrit), siis erinevus nende vahel tekib (5,69 ruutmeetrit). Enne tööde alustamist on töömahu hindamiseks vaja teada seinte pindalasisid. Enamiku ehitusmaterjalide kulu määrab pindala. Samuti on see parameeter oluline tööde aja ja hindade arvutamiseks, kuna enamik töid sõltub ruutmeetri hinnast.



Joonis 39. Külgliseina pindala arvutus (223,77 ruutmeetrit).

Joonistel 35, 37, 38 ja 39 on toodud tasapinna konstrueerimise andmed, nullpunkti koordinaadid, pinnanormaal ja kaldenurk tasapinna suhtes. Samuti on esitatud konstrueeritud tasapinna vead punktipilve suhtes.

Andmed on koondatud tabelisse 8 ja 9.

Tabel 8. Külgliseina konstrueerimise statistilised näitajad.

Pinnanormaal	(0,977; 0,214; -0,000)
Kaldenurk horisontaalpinna suhtes	90,015 kraadi
Seina nullpunkti koordinaadid	(59,21; 12,49; 1,00)
Külgliseina pindala	223,77 m ²
Standardhälve	0,003 m
Absoluutne viga	0,003 m
Maksimaalne absoluutviga	0,009 m

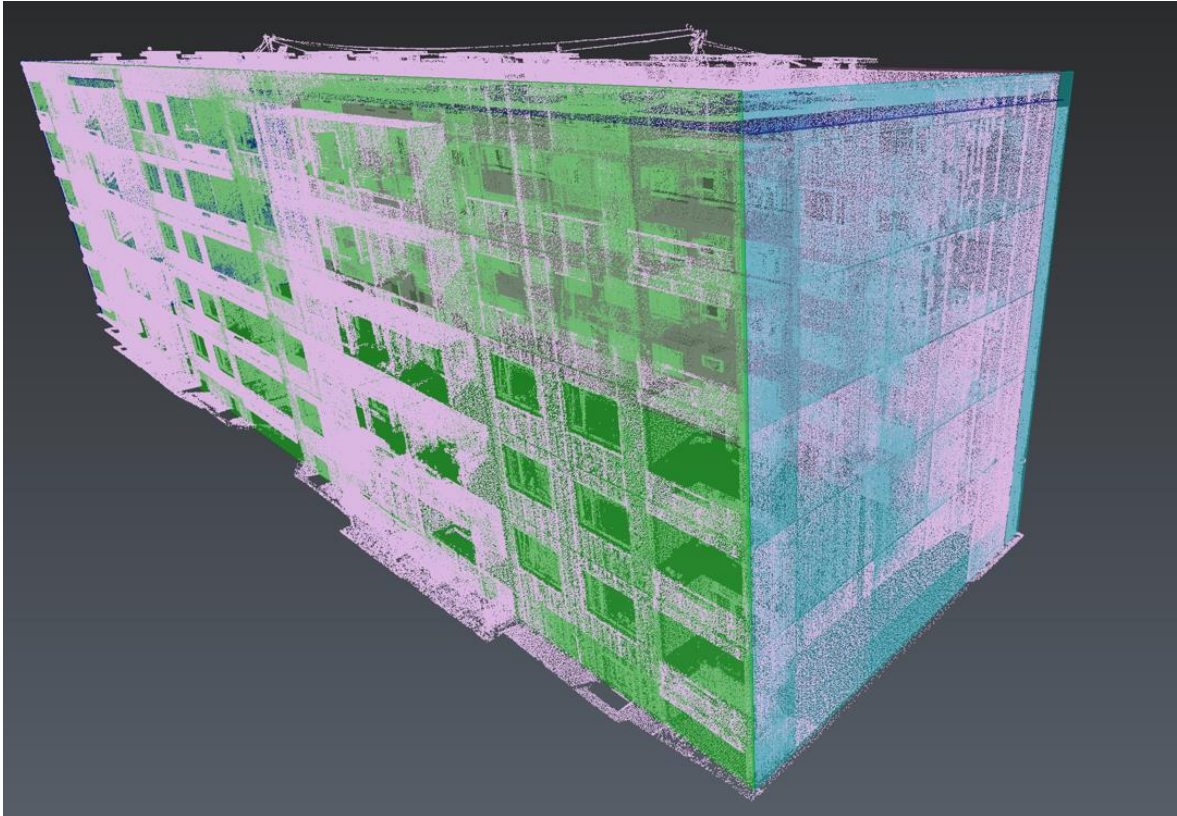
Tabel 9. Esiseina konstrueerimise statistilised näitajad.

Pinnanormaal	(-0,213; 0,977; -0,001)
Kaldenurk horisontaalpinna suhtes	89,935 kraadi
Seina nullpunkti koordinaadid	(59,19; 12,48; 1,01)
Standardhälve	0,043 m
Absoluutne viga	0,043 m
Maksimaalne absoluutviga	0,110 m

Tabelite 8 ja 9 saadud tulemusi analüüsitakse jaotises 4.3

Töös tehakse ka konstrueeritud tasapinna ja esialgse punktipilve analüüsi. Kuna tarkvaras Vision Lidar autoril ei õnnestunud sellist analüüsi teha, viiakse konstrueeritud seinade tasapinnad Leica Cyclone tarkvarasse (vt joonis 46).

Ultimate versioon võimaldab salvestada faili õigetes koordinaatides. See võimaldab ka leida tasapindade asetuse kehtivates koordinaatides.



Joonis 40. Vision Lidaris konstrueeritud tasapinnad tuuakse Leica Cyclone tarkvarasse. Lilla värviga on märgitud punktipilv, roheline värviga – esiseina tasapind ja sinise värviga – külgeina tasapind.

Leica Cyclone tarkvaras tehakse võrdlus esiseina tasapinna ja punktipilve vahel, mida näidatakse jaotises 4.3.

4.3 Saadud tulemuste analüüs

Kõige olulisemad näitajad tulemuste analüüsil on:

- Vertikaalsete tasapindade automaatse loomise lihtsus ja kiirus
- Vertikaalsete tasapindade automaatse loomise kvaliteet ja täpsus
- Võimalus vertikaalsete objektide loomiseks automaatselt

Erinevaid programme uurides ja analüüsid (vt lisa lk 77-98) leiti kaks programmi, mis antud töö raames võrdlusele tulevad: Vision Lidar ja Leica Cyclone (vt jaotised 4.1 ja 4.2). Programmide võimalusi vertikaalsete objektide loomiseks on toodud lisades (lk 77), käesolevasse peatükki on koondunud kahe programmi põhjal leitud tulemused. Vision Lidar ja Leica Cyclone programmides saab teha erinevaid töid ja ka konstrueerida tasapindu automaatses režiimis. See lihtsustab töötlemist ja annab võimalusi teha käsitsi ainult parandusi ja saada usaldusväärseim tasapind.

Tulemuste analüüsimise jaoks koostatakse tabel 10 ja 11, milles hinnatakse valitud programmi erinevate näitajate põhjal. Tabel 10 on koostatud tarkvara Leica Cyclone kohta ja tabel 11 tarkvara Vision Lidari saadud tulemuste põhjal.

Tabel 10. Esiseina ja külgliseina paameetrid koostatud tarkvara Leica Cyclone abil.

Leica Cyclone		
	Esisein	Külglisein
Pinnanormaal	(-0,2131; 0,9770; -0,0009)	(0,9771; 0,2128; -0,0002)
Erinevus vertikaalist	0,0003 m	0,0003 m
Seina nullpunkti koordinaadid	(537941,466; 6584476,426; 29,752) m	(537976,682; 6584489,500; 29,740)
Keskmine viga	0,000 m	0,000 m
Standardhälve	0,049 m	0,004 m
Absoluutne viga	0,031 m	0,003 m
Maksimaalne absoluutviga	0,130 m	0,010 m
Pindala	899,91 m ²	229,46 m ²
Kasutatud punktid	740762 tk	358719 tk

Tabel 11. Esiseina ja külgliseina paameetrid koostatud tarkvara Vision Lidari abil.

Vision Lidar		
	Esisein	Külgsein
Pinnanormaal	(-0,213; 0,977; -0,001)	(0,977; 0,214; -0,000)
Kaldenurk horisontaalpinna suhtes	89,935 kraadi	90,015 kraadi
Seina nullpunkti koordinaadid	(59,19; 12,48; 1,01)	(59,21; 12,49; 1,00)
Standardhälve	0,043 m	0,003 m
Absoluutne viga	0,043 m	0,003 m
Maksimaalne absoluutviga	0,110 m	0,009 m
Pindala	886,54 m ²	223,77 m ²
Kasutatud punktid	729756 tk	349822 tk

Tabel 12. Tabelite 10 ja 11 parameetrite vahe.

	Esisein	Külgsein
Pinnanormaalide vahe	(0,0001, 0,0000, 0,0001)	(0,0001, 0,0012, 0,0002)
Standardhälvete vahe	0,005 m	0,001 m
Absoluutsete vigade vahe	0,012 m	0,000 m
Maksimaalse absoluutvigade vahe	0,002 m	0,001 m

Pinnanormaal on sirge, mis ristub vaadeldavas punktis vastavalt puutujatasandiga. Absoluutne viga näitab tegeliku ja mõõdetud vahet.

Mõõtmiste täpsuse hindamiseks kasutatakse ruutkeskmist viga arvutamine. Praktikas on mõõtmete arv n alati piiratud. Seetõttu kasutatakse üksikumõõtmise täpsuse hindamiseks seeriast, mis sisaldab n otsest võrdset mõõtmist, standardi lähendust.

Standardhälve ehk ruutkeskmise viga on ruutjuur dispersioonist (valem 1).

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}{n-1}} = \sqrt{DX}$$

Valem 1.

kus x_i on üksiku mõõtmise ($i=1,2,\dots,n$) tulemus ja \bar{x} on mõõtmistulemuste aritmeetiline keskmine, st $\bar{x} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i$, mis on ühe ja sama suuruse mitmekordsete mõõtmiste tulemuse tõenäosim väärtus. Standardhälve iseloomustab tunnuse hajavust – mida suurem on standardhälve, seda suurem on tunnuse väärtuse hajavus. [Kala, 2009]

Dispersioon (valem 2) on keskmine ruuthälve, mis on juhusliku suuruse varieeruvuse mõõt, mis näitab kui palju uuritav suurus varieerub. Mida suurem dispersioon, seda enam erinevad vaadeldava arvurea väärtused üksteisest.

$$DX = E(X - EX)^2 \quad \text{Valem 2.}$$

Kus $X-EX$ on tsentreeritud hälve (juhusliku suuruse ja selle keskvaartuse vahe) ja X üksik mõõdetud väärtus. [Kala, 2009]

Valem kasutatakse juhusliku suuruse hajuvuse iseloomustamiseks selle juhusliku suuruse ja selle keskvaartuse vahe ruudu keskvaartust. [Kala, 2009]

Võrreldakse külge- ja esiseintele konstrueeritud pinnanormaale, Leica Cyclone ja Vision Lidar annavad mõlemad väga lähedased väärtused koordinaatidele x , y ja z (erinevus esiseinal x puhul 0,0001, y puhul 0,0000, z puhul 0,0001; külgeinal x puhul 0,0001, y puhul 0,0012, z puhul 0,0002). Kui vaadata z koordinaati, siis Leica Cyclone väärtus on -0,0009 ja Vision Lidari väärtus on -0,001 esiseina puhul. Need numbrid on väga lähedased nullile ja näitavad minimaalse hälbe z -telje suunas. Tulemus ei mõjuta palju seina asukoha ja on usaldusväärne selliselt loodud seina kasutamiseks.

Kui on vaja teada täpsemat seina asukoha, siis seina nullpunkti koordinaadid on vajalikud ja pinnanormaal, et anda hinnang seina vertikaalsusele, sirgjoonelisusele. Leica Cyclone kohta on hea, et tarkvara annab nullpunkti koordinaadid L-EST süsteemis ja BK77 kõrguses. Vision Lidaris on nullpunkt antud tarkvara oma süsteemis, mille põhjal ei ole kohe aru saada, kus sein realsuses kasutatavas süsteemis asub.

Kui võrrelda esiseina standardhälvet, siis näitaja on parem Vision Lidari tarkvaras.

Leica Cyclone programmis on standardhälve number 0,049 m, mis on võrdne 49 mm = 4,9 cm. Ikkagi see parameeter ei saa olla nii suur. Praktikas 5 cm on palju, kui tegemist on seina asukoha või seina pindalaga. Vision Lidari number on 0,003 m, mis on võrdne 3 mm. See näitaja on usaldatav ja kasutatav praktikas. 3 mm ei mängi väga suurt rolli seina asukoha määramiseks ja pindala arvutamiseks. Külgeina parameetrid mõlemal tarkvaral on lähedane. Standardhälve Leica Cyclone on 0,004 ja Vision Lidari tarkvaras, mis on 0,003 m. Standardhälvete vahe on 0,001 m. Mõlemad tarkvarad annavad sarnased tulemused, mida annab võimaluse järeldata, et mõlema tarkvarade tulemused on usaldusväärsed.

Tabelite 10 ja 11 põhjal absoluutne viga tegeliku ja mõõdetud suuruse vahet. Maksimaalne absoluutviga näitab maksimaalset vahet. Maksimaalse absoluutvigade erinevused on tegelikult alla 1 cm, mis näitab tasapindade kvaliteetsust. Vision Lidar näitab väiksemaid vigu kui Leica Cyclone. Sellest saab järeldada, et Vision Lidaris konstrueeritud sein on tehtud paremini ja täpsemalt Leica Cyclone annab 0,031 m ja Vision Lidaris on 0,003 m. Vision Lidari maksimaalne absoluutne viga on 0,009 m, mis on võrdne 9 mm = 0,9 cm. Maksimaalse absoluutvea Leica Cyclone kohta on 0,130 m esiseina puhul. Praktikas tähendab viga 13,0 cm ebatäpse kohamäärangut. Seda tulemust võiks mõjutada esiseina mürarikas punktipilv segavate objektidega (aknad, rõdud). Maksimaalne absoluutne viga on näidatud õigesti, kui on tehtud erinevad võimalikud seinade konstrueerimise katsed ja nende katset tulemuste põhjal on arvutatud viga ning on tehtud võrdlusi saadud tulemuste põhjal. Kuid sellistes programmides oli tehtud tasapind esimesest proovist, siis ei saa öelda, et arvutatud programmides maksimaalne viga näidatud õigesti, kuna keskmine tulemus on võrdne sama numbriga, mis oli saadud esimesest proovist. Aritmeetilise keskmist arvu ei saa arvutada. Kuna esisein on ka Vision Lidar programmis konstrueeritud akende ja rõdudega, siin edasi järeldusi saab teha, et konstrueerimise meetod mõjutas pinda.

Külgliseina maksimaalne absoluutviga Leica Cyclone tarkvara annab 0,010 m ja Vision Lidari tarkvara annab 0,009 m. Mõlemad tarkvarad annavad vea väärtusega 10 mm piirides, mida on reaalsem ja praktikas väga suurt rolli ei mängi.

Esialgselt näib, et Vision Lidari tulemused on parem, kuid Leica Cyclone näitajad on sarnased. Sellises suurusjärgus viga ei mõjuta väga palju reaalsust.

Käesolevas töös ei ole lõpptulemuse jaoks oluline, mis meetodiga seinade tasapinnad erinevates programmides konstrueeritakse ning võrreldakse valmis tasapindu. Põhimõtte on selles, et ei ole teada, mille alusel tarkvarades punktide valimine toimub või millist algoritmi kasutatakse.

Kaugust külgliseina ja esiseina tasapindade vahel mõõdetakse iga tarkvara puhul selles olevatel tingimustel. Kui kahes tarkvaras kasutatakse erinevaid meetodeid konstrueerimiseks, siis ka tasapindade vaheline kaugus saab olla tingitud erinevatest näitajatest. Kasutatud punktide põhjal võetakse kahes tarkvaras konstrueeritud seinade pindalad.

Tabelis 13 on näidatud külgliseinade ja esiseinade pindalad ja mitu punktid oli kasutatud nende tasapindade konstrueerimiseks, kaugus külgliseina ja esiseina vahel konstrueeritud tasapindu kahes erinevates programmides.

Tabel 13. Kahe tarkvarades konstrueeritud külgliseina ja esiseina tasapindade numbriline võrdlus.

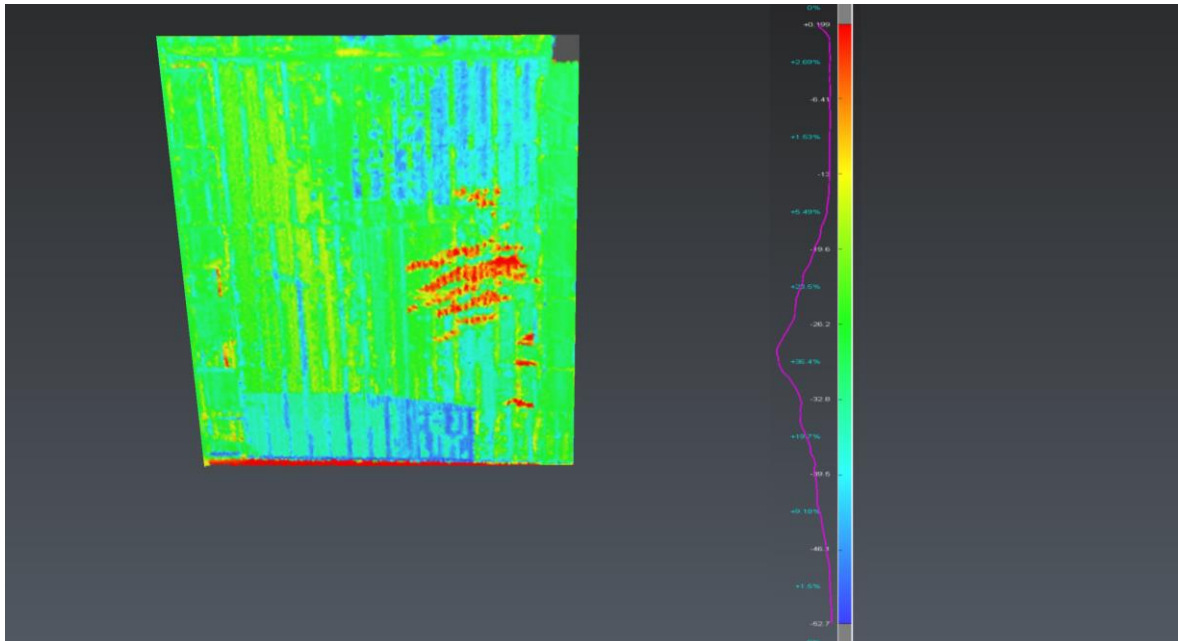
	Kaugus kahe tasapinna seinade vahel	Külgseina pindala	Kasutatud punktid	Esiseina pindala	Kasutatud punktid
Leica Cyclone	9 cm	229,46 m ²	356719 tk	889,91 m ²	740762 tk
Vision Lidar	3 cm	223,77 m ²	349822 tk	886,54 m ²	729756 tk
Erinevus	6 cm	5,69 m ²	8897 tk	3,37 m ²	11006 tk

Tabelis 13 on näha, et kaugus kahe tasapinnalise seinade vahel on väga erinev. Leica Cyclone tarkvara annab kauguse väärtuseks 9 cm ja Vision Lidari väärtus on 3 cm, siis vahe paremeetritest on 6 cm. See väärtus ei ole kõige parem, kui ikkagi 3 cm vahe reaalsuses saab mõjutada kogu ehitust. Näiteks, kui tehakse 2 sirget seinat, mis peavad olema risti maapinnaga, siis 3 cm vahe mõjutab ühe või teise seinat risti suunalisest.

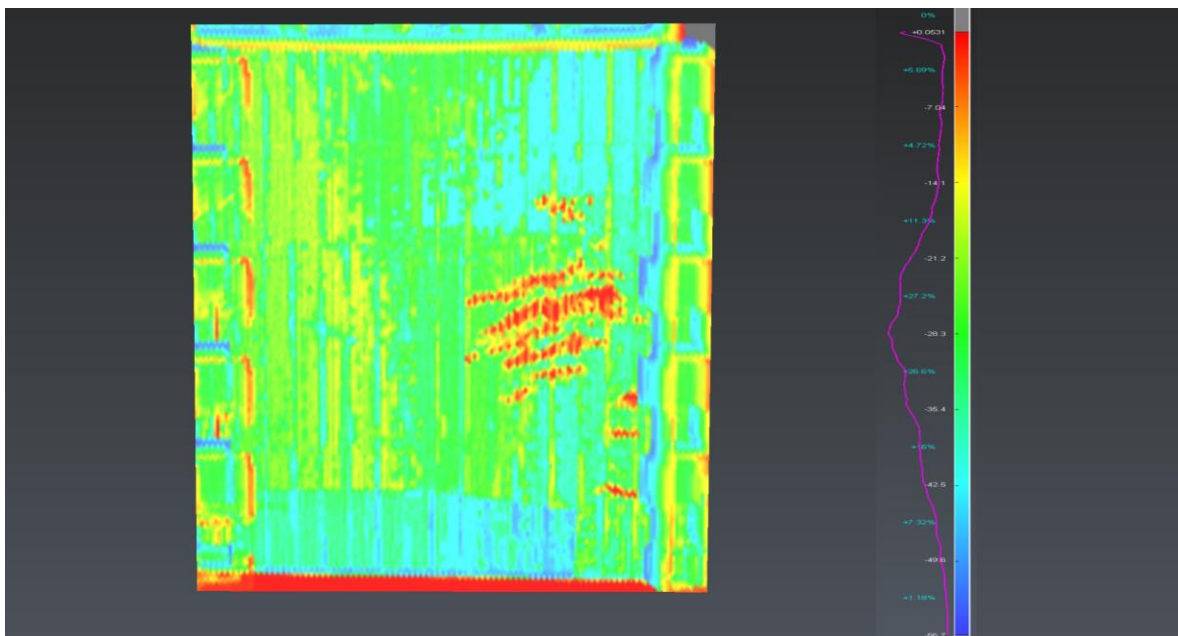
Esiseina pindalad kahes tarkvarades on erinevusega 3,37 m². See tähendab seda, et 880 m² kohta on 3,3 m² erinevus. Külgseina pindalad on erinevusega 5,56 m², mida tähendab, et 220 m² kohta on 5,5 m² erinevus. Pindala väärtusele mõjutab kasutatud meetod, punktide arv. Kui rohkem punkte kasutatud, seda suurem pindala on. Siis ka meetod saaks mõjutada nii, et kui täpselt tarkvara võtab punkte, millised on täpselt seotud huvitava seinaga ja olevad täpselt servapunktid. Pindala väärtusele mõjuvad ka teised näitajad ja vead nagu absoluutne viga, seega täpselt sama tulemust saada ei saa. Külgsein konstrueeriti ka Revit programmis (vt lisa lk 80, tabel 14) käsitsi, saadud pindala oli 208,500 m². Erinevus automaatselt konstrueeritud tulemustega on Vision Lidariga 15,27 m² ja Leica Cyclonega 20,96 m². Esiseina ka konstrueeriti Revitis (vt lisa lk 80, tabel 14) käsitsi, saadud pindala on 857,16 m². Erinevus automaatselt konstrueeritud tulemustega on Vision Lidariga 29,38 m² ja Leica Cyclonega 32,75 m². Erinevuste põhjal võib järeldada, et iga programmi tulemused on kõikuvad. Saab järeldada, et käsitsi meetod saab erinevates tingimustes olla ebatäpset. Põhjenduseks saab olla näiteks, kui joonistaja kasutab konstrueerimisel käsitsi punktide valimise meetodit, siis ta võib võtta arvesse vähem punkte kui on vaja või vastupidi tarkvara valib rohkem punkte ehk müra. Saab eeldada, et punktide valimise järel mõlemad tarkvarad annavad õigeid pindala väärtuseid. Pindala väärtus sõltub punktide kogusest, mida suurem valitud punktide arv, seda suurem pindala. Milline pindala on reaalsusele kõige lähemal, siin öelda ei saa, sest väärtused on erinevad ja meetodid nende leidmiseks ka erinevad.

Leica Cyclone ja Vision Lidar programmid teostavad punktide valikut automaatselt ja näitavad valmis tasapinda. Seda tasapinda pole võimalik parandada ega muuta. Vigade analüüsist saab järeldada, et Leica Cyclone ja Vision Lidari tarkvarades saab teha automaatselt tasapindu ja saada vead, mida kasutaja saab edasi analüüsida ja otsustada, kas võtta need arvesse või mitte.

Analüüsiks tehakse ka võrdlus konstrueeritud tasapinna ja kasutatud punktipilve vahel. Külgliseina tasapind ja punktipilv on tarkvaras Leica Cyclone näidatud joonisel 41 ja Vision Lidari tarkvara puhul joonisel 42.



Joonis 41. Külgliseina tasapinna võrdlus punktipilvega programmis Leica Cyclone. Roheline värv näitab kus punktipilv ja tasapind lähevad kokku täpsemalt. Sinine värv näitab kus punktipilv on tasapinnast eespool ja punane värv näitab kus punktipilv tagapool.



Joonis 42. Konstrueeritud Vision Lidari tarkvaras külgliseina tasapinna ja punktipilve võrdlus. Roheline värv näitab kus punktipilv ja tasapind lähevad kokku täpsemalt. Sinine värv näitab kus punktipilv tasapinnast on eespool ja punane värv näitab kus punktipilv tagapool.

Joonisel 41 on näha, et umbes 40% tulemustest jääb 30 mm piiridesse (roheline toon), umbes 55% tulemustest 50 mm piiridesse (siia lisanduvad ka eelnevad 40%, mis on 30 mm sees) ja umbes 50% tulemustest 20 mm piiridesse (sinine ja punane toon).

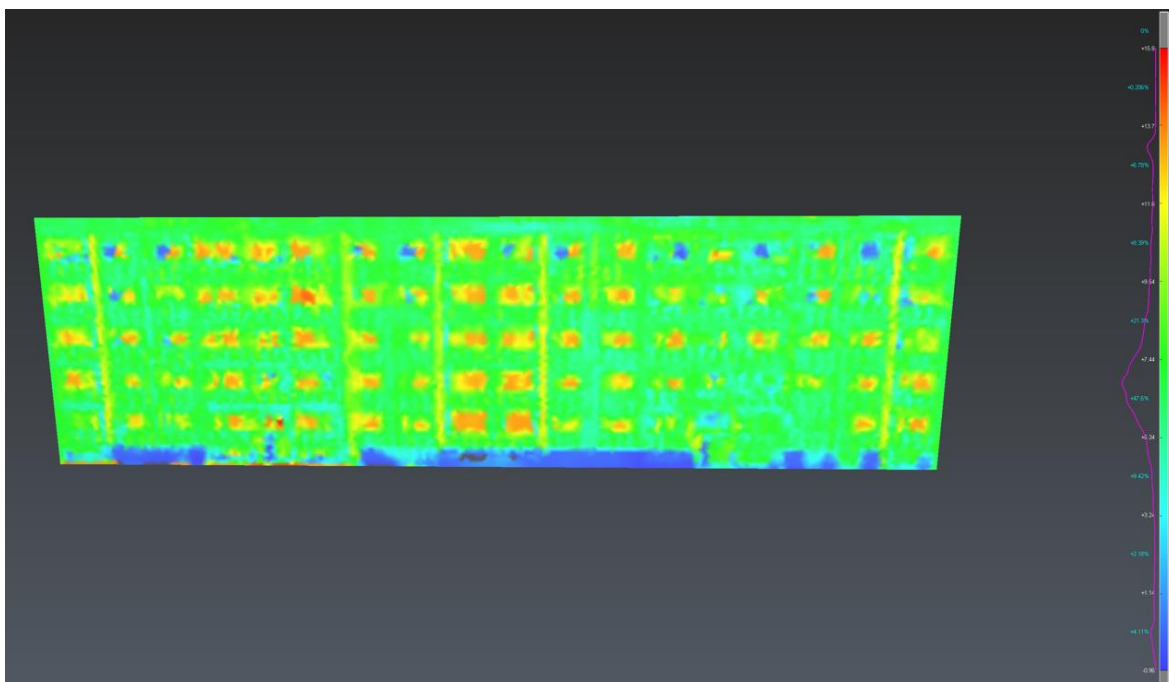
Jooniselt 42 nähtub, et umbes 30% tulemustest jääb 30 mm piiridesse, umbes 40% tulemustest 10 mm piiridesse ja umbes 60% tulemustest 60 mm piiridesse.

Mõlemal joonisel on punase värviga näidatud osa, mis ei ole punktidega täidetud, saab eeldada, et lähedal seisev puu segas täieliku skaneerimise tegemist.

Vision Lidari tarkvaras konstrueeritud külgein ei ole terviklikuna punktidega täidetud. Tervikust seinast lähevad punktid paremini kokku Vision Lidaris tarkvaras umbes 40%. Leica Cyclone tarkvaras umbes 30% on täidetud külgein punktidega.

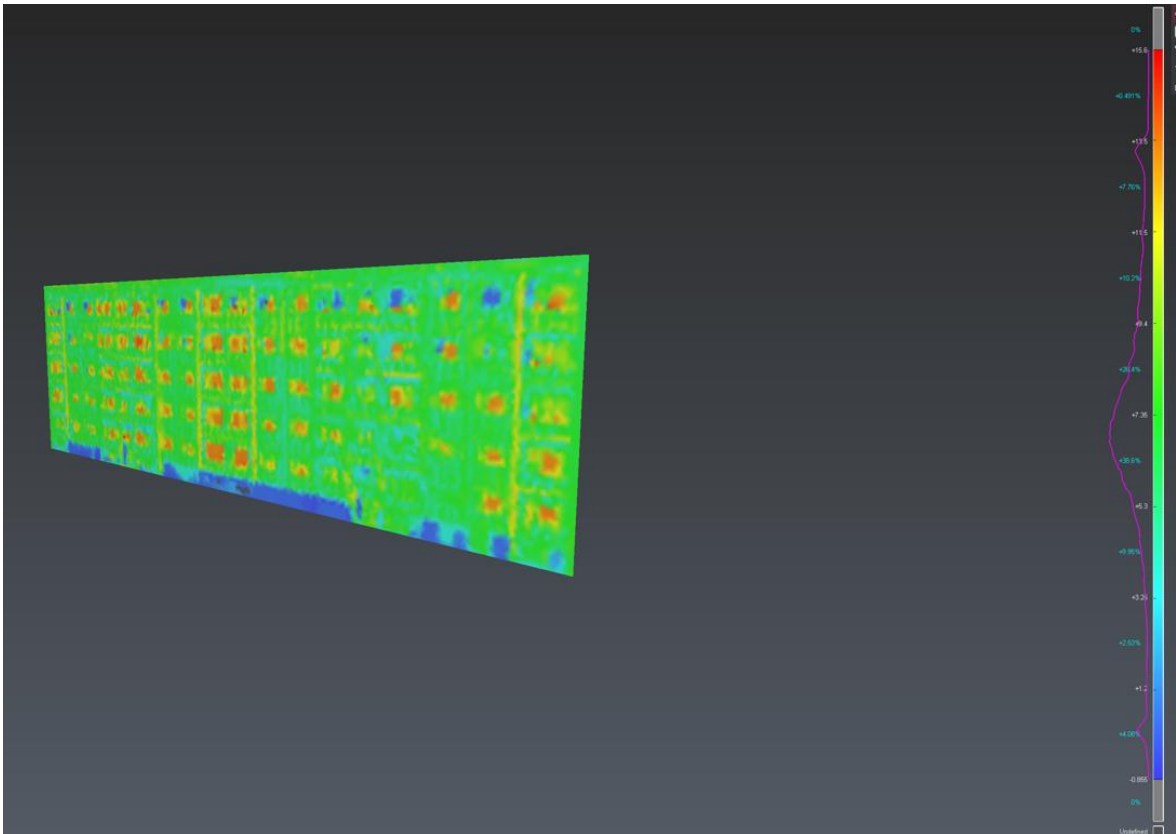
Vision Lidar ei suuda seina alumise osa punkte tuvastada seina punktidenä, sellest tekkis nii suur osa punast tähistust. Joonised on sarnased, aga Leica Cyclone annab suurema pindala väärtuse ja suurem osakaal punktidest jääb 30 mm piiridesse. Piirkond, kus oli puu ja punktipilves tekkis tühi koht mõjutab ka lõpptulemust.

Esiseinale konstrueeritud tasapindade ja punktipilvede võrdlus on tarkvaras Leica Cyclone näidatud joonisel 43 ja tarkvara Vision Lidari puhul on joonis 44.



Joonis 43. Esiseina tasapinna ja punktipilve võrdlus. Roheline värv näitab tasapinnaga ühilduvaid punkte. Sinine värv tähistab tasapinnast eespool olevat punktipilve ja punane värv tähistab tasapinnast tagapool paiknevat punktipilve.

Joonisel 43 on näidatud esiseina võrdlus konstrueeritud tasapinna ja punktipilve vahel. Histogrammi alusel jääb umbes 68% tulemustest 6 mm piiridesse, umbes 30% tulemustest 15 mm piiridesse ja umbes 15% tulemustest 1 mm.



Joonis 44. Konstrueeritud Vision Lidari tarkvaras esiseina tasapinna ja punktipilve võrdlus.

Roheline värv näitab tasapinnaga ühilduvaid punkte. Sinine värv tähistab tasapinnast eespool olevat punktipilve ja punane värv tähistab tasapinnast tagapool paiknevat punktipilve.

Joonisel 44 histogrammi põhjal jääb umbes 65% tulemustes 8 mm piiridesse, umbes 33% tulemustes 14 mm piiridesse ja umbes 15% tulemustest on 1 mm piires.

Esiseina puhul seisneb raskus akendes ja rõdudes. Sellised osad histogramm peal on näidatud kollase või oranži värviga. Kuid mõlema võrdluse puhul lähevad punktipilve punktid konstrueeritud tasapinnaga paremini kokku, 60% tulemust jääb 6-8 mm piiridesse.

Esiseina puhul rohkem kui pooled punktid on 6-8 mm piirides, külgliseina puhul 40-50% on 30 mm piirides. Seinapind on esiseinal suurem, punkte rohkem, rõdud ja aknad sellisel juhul ei seda.

Lõpujäreldeuseks on, et joonisel rõdude asukohti näitavad punased alad ei mõjuta reaalselt projektis seina joonestamist. Kui punktipilv korralikult liigpunktidest puhastada ja siis veahinnangud ka tulevad usaldusväärsemaid.

Eelnevast analüüsist võib järeldada, mõlemate tarkvaradega on saavutatav vertikaalsete tasapindade automaatne konstrueerimine. Leica Cyclone tarkvara võimaldas paremat kvaliteeti vertikaalsete objektide konstrueerimisel, soovitud punktide valimiseks ei ole vaja käsitsi tööd teha. Vision Lidar tarkvara pakub automaatset punktide valik. Seega

mõlemad tarkvarad omavad automaatset võimalust vertikaalsete konstrueerimiseks, mis annab võimaluse säästa aega ja optimeerida joonistaja tööd. Tulemuste põhjal ei oma konstrueeritud tasapinnad märkimisväärseid erisusi punktipilvedest ega ka omavahelises võrdluses, mistõttu sobivad mõlemad programmid geodeedi töölauale. Valikut võivad mõjutada kaalutlused kasutaja mugavus osas.

KOKKUVÕTE

Laserskannerid on juba mitu aastakümnet edukalt kasutatud erinevates valdkondades – inseneriuuringutes, masinaehituses, tööstuse moderniseerimises, arhitektuurses restaureerimises ja teede ehituses.

Laserskaneerimise peamine eelis on mõõdistamisobjekti maksimaalne detailsus, mis võimaldab paljusid otsuseid teha ainult mittekontaktsete andmete põhjal. Laserskaneerimise andmete alusel luuakse punktipilvi, mille edasitöötlemiseks kasutatakse erinevaid tarkvarasid.

Töös tegeleti püstituste seinte konstrueerimisega kahe tarkvara näitel. Ehitiste renoveerimiseks on vaja teada vertikaalsete seinte geomeetrilisi parameetreid. Antud töö eesmärk on analüüsida, milline tarkvara annab parema tulemuse ja säästab rohkem aega seinte tasapindade modelleerimiseks.

Töö eesmärk saavutati Akadeemia tee 5A näitel Leica Cyclone ja Vision Lidar tarkvarade kaudu. Saadud tulemused kahes tarkvaras on erinevad, aga iga tulemus sobib analüüsiks ja edasitöötlemiseks.

Saadud külgsena standardhälve tarkvaras Vision Lidar on 0,004 m ja Leica Cyclone on 0,003 m. Esiseina standardhälve on tarkvaras Vision Lidar 0,043 m ja Leica Cyclone 0,049 m. Erinevus külgsena puhul on 0,001 m ja esiseina puhul on 0,005 m. Seetõttu on mõlema tarkvara tulemused usaldusväärsed. Erinevused jäävad külgsena puhul 1 cm piiridesse ja esiseina puhul 5 cm piiridesse.

Külgsena näitel saadi pindalade järgmised väärtused: Leica Cyclone tarkvaras 229,46 m² ja Vision Lidari andmetel 223,77 m². Erinevus jääb 5 m² piiridesse. Käsitsi saadud tulemus tarkvaras Revit on 208,39 m², mis annab väga suurt erinevust võrreldes kahe tarkvarade automaatsete saadud tulemustega. Tarkvarade tulemused on lähedamad, siis need on usaldusväärsed. Kaugus kahe tasapinna vahel on kahe tarkvara puhul erinevusega 6 cm, parema tulemuse saab Vision Lidar tarkvaras – 3 cm. Seda väärtust võib pidada usaldusväärsemaks, kui Leica Cyclone tarkvaras saadud näitaja – 9 cm.

Esiseina näitel saadi pindalade järgmised väärtused: Leica Cyclone tarkvaras 889,91 m² ja Vision Lidari andmetel 886,54 m². Erinevus jääb 3,37 m² piiridesse, seega vea väärtus on ca 0,3%. Käsitsi saadud tulemus tarkvaras Revit on 857,61 m², mis on erineb 28 – 32 m² teiste tarkvarade tulemustest.

Tehtud on võrdlus punktipilve ja konstrueeritud tasapindadega esiseina ja külgeina kohta. Külgeina puhul on kahes tarkvarades jääb 30% - 40% tulemust 30 mm piiridesse. Umbes 50%-60% tulemust jääb 60 mm piiridesse. Võrreldes külgeina tulemustega on esiseina tulemused paremad. Umbes 65% tulemustest jääb 6 - 8 mm piiridesse. Selles saab järeldada, et rõdud ja aknad ei sega vertikaalsete seinade konstrueerimist. Sellisel juhul vead, millised annab tarkvara ei mängi suurt rolli, kuna teada on vaja seina asukoha.

Antud töös testiti vertikaalsete objektide automaatse loomise võimalusi, mille eesmärk on ennekõike optimeerida töö ajastamist, kasutaja mugavust, samuti säästa raha, vähendades tööjõukulusid.

Selle magistritöö tulemusi, vertikaalseid tasapindu, saab rakendada töös kajastatud programmide edasiseks analüüsimiseks ja testimiseks, mis võib osutada kasulikuks geodeesia, arhitektuuri, kartograafia, geoloogia, näiteks kõige sobivama tarkvara leidmiseks.

SUMMARY

Laser scanners have been used successfully for many decades in a variety of areas including engineering research, mechanical engineering, industrial modernization, architectural restoration and road construction.

The main advantage of laser scanning is in the maximum detailisation of the object, which allows many decisions to be made only on the basis of remote sensing data. Based on the laser scanning data, a point cloud is created, which is processed using different software.

The work dealt with the construction of vertical elements on the example of vertical walls and two software packages. The construction of walls is the most important part of building process, because each building consists of upright objects. For construction it is necessary to know the location and geometrical parameters of the vertical walls. The aim of this thesis is to analyze which software gives better results and saves more time for wall construction.

In this thesis, several programs were studied and analyzed, and the creation of vertical objects from a 3D point cloud on the example of Akadeemia tee 5A was completed.

The goal of the research was achieved through application of Leica Cyclone and Vision Lidar software. The results received in the two software are different, but each result is suitable for further analysis and further processing.

The resulting standard deviation of the side wall in Vision Lidar is 0.004 m and in Leica Cyclone is 0.003 m. The standard deviation of the front wall in Vision Lidar is 0.043 m and in Leica Cyclone is 0.049 m. The difference is 0.001 m for the side wall and 0.005 m for the front wall. Therefore, the results of both software are reliable when compared to each other. The value is within 1 cm for the side wall and 5 cm for the front wall.

Using the sidewall as an example, were received the following surface area values: 229, 46 m² in the Leica Cyclone software and 223.77 m² in the Vision Lidar. The difference is within 5 m². The result obtained manually in Revit is 208.39 m², which gives a very large difference compared to the automatic results obtained by the two software. This can be influenced by factors such as human error, but since the software results are closer, they are more reliable. The distance between the two planes is 6 cm for the two software, the Vision Lidar software gives a better result - 3 cm. This value can be considered more reliable than the 9 cm value obtained in the Leica Cyclone software.

For the example of the front wall, the following area values were obtained: 889.91 m² in Leica Cyclone and 886.54 m² in Vision Lidar. The difference is within 3.37 m², which is a very good result. The manual result in Revit software is 857.61 m², which is different from the other software within a range of 28 -32 m. The difference is 3.8 m².

A comparison is made between the point cloud and the constructed planes for the front and side walls. For the side wall, 30%-40% of the results for the two software are within 30 mm. Approximately 50%-60% of the result is within 60 mm. Compared to the side wall results, the front wall results are better. About 65% of the results are within 6 - 8 mm. It can be concluded, if the histogram is done correctly, that balconies and windows do not interfere with the construction of vertical walls. In this case, the errors given by the software do not play a major role, since it is necessary to know the position of the wall.

As a result, considerable work has been done to research, analyze and test ground-based laser scanning data processing programs. The possibilities of automatic creation of vertical objects were tested, the main purpose of which is to optimize work scheduling, user comfort, as well as save money by reducing labor costs.

The results of this master's thesis, vertical planes, can be successfully applied to further analysis and testing of those programs that may be useful in the field of architecture, cartography, design work, for example, to find the most suitable software.

KASUTATUD KIRJANDUSE LOETELU

Antošina (2015). Maapealne laaserskanner. Loetud 8.04.2021 aadressil https://www.nngasu.ru/geodesy/classification/chastnye-klassifikatsii/14_Lazernie_skaneri.php

Artgeo kodulehekülg. Loetud 18.04.2021 aadressil https://artgeo.ru/solution/otchet_ob_ispytaniyakh_3d_skanera_riegl_vz_6000_dlya_tseley_prognozirovaniya_lavin_i_monitoringa_lav

Eric van Rens (2021). Meeting Bluesky's growing demand for aerial imagery and lidar data products. Loetud 16.04.2021 aadressil <https://www.spar3d.com/news/software/pointfuse-modeling-engine-converts-point-clouds-into-usable-3d-models/>

Fernandez A.C., Singhania A., Caceres J., Slatton K.C., Starek M., Kumar R. (2007). An Overview of Lidar Point Cloud Processing Software. Loetud 19.05.2021 aadressil https://www.researchgate.net/publication/229037800_An_overview_of_lidar_point_cloud_processing_software

Geo-plus kodulehekülg. Loetud 4.04.2021 aadressil <https://www.geo-plus.com/point-cloud-software/#1523386910422-b776e347-c346>

Geoinformatics kodulehekülg. Loetud 5.04.2021 <https://geoinformatics.com/pointly-next-level-3d-point-cloud-classification-tool-launched/>

Gfk-leica kodulehekülg. Loetud 8.04.2021 aadressil https://www.gfk-leica.ru/tehnologii/lazernoe_skanirovanie/

Gim-international kodulehekülg. Loetud 13.04.2021 <https://www.gim-international.com/>

Julge K. (2016). Akadeemia tee 5a ühiselamu laserskaneerimine, Tallinn: Aruanne, Tallinna Tehnikaülikool. Loetud 10.04.2021

Kala V. (2009). Geodeetiliste mõõtmiste andmetöötluse teooria alused. Loetud 11.04.2021.

Karavanov M. (2020). Новая версия ПО Trimble RealWorks 11.2. Loetud 16.04.2021 aadressil <https://trimble.club/novaia-viersiia-po-trimble-realworks-11-2-1/>

Leica geosystems kodulehekülg. <https://leica-geosystems.com/products/laser-scanners/software/leica-cyclone>

Leica geosystems kodulehekülg. Loetud 9.04.2021 <https://leica-geosystems.com/en-gb/products/laser-scanners/scanners/leica-scanstation-p40--p30>

Lyksurveying kodulehekülg. Loetud 11.04.2021 adressil <https://lyksurveying.com/product-category/3d-laser-scanner/>

Macher H., Landes T., Grussenmeyer P. (2017). From Point Clouds to Building Information Models: 3D Semi-Automatic Reconstruction of Indoors of Existing Buildings. Loetud 09.01.2022

Malberg K. (2019). Siseruumide ja allmaakaevõõnte ruumikuju määramine mobilise laserskaneerimisega, Tallinn: Magistritöö, Tallinna Tehnikaülikool.

Medvedev V., Raikova L. (2017). Программы для обработки данных лазерного сканирования местности. Loetud 17.04.2021

Mes-insights kodulehekülg. Loetud 16.04.2021 <https://www.mes-insights.com/lidar-systems-costs-integration-and-major-manufacturers-a-908358/>

Nevolin A, Basargin A. (2012). Обработка результатов наземного лазерного сканирования и трехмерное моделирование объектов местности. Loetud 23.04.2021

Pierini R. (2020). Loetud 7.04.2021 adressil <https://gexcel.it/en/software/reconstructor>

PontCab alla laadimiseks veebileht. Loetud 13.12.2021 adressil <https://filecr.com/windows/pointcab-3d/?id=88078232477>

PointCab kodulehekülg. Loetud 20.04.2021 adressil <http://www.iqservices.eu/ru/software/pointcab.html>

Pointly kodulehekülg. Loetud 5.04.2021 adressil <https://pointly.ai/>

Poux F. (2020). 5-Step Guide to generate 3D meshes from point clouds with Python. Loetud 16.04.2021 adressil <https://towardsdatascience.com/5-step-guide-to-generate-3d-meshes-from-point-clouds-with-python-36bad397d8ba>

Rapponotti B., Snowden M., Zeng A. (2020). Point Cloud to Mesh, Ball-Pivoting Algorithm. Loetud 16.04.2021 adressil <https://cs184team.github.io/cs184-final/writeup.html>

ReCap kodulehekülg. Loetud 02.011.2021 aadressel <https://graphicsyst.com/autodesk-recap/225-autodesk-recap-2014.html>

Rigel kodulehekülg. Loetud 4.04.2021 aadressil <http://www.riegl.com/products/software-packages/riscan-pro/>

Revit kodulehekülg. Loetud 2.11.2021 aadressil <http://sapr-journal.ru/stati/autodesk-revit/>

Rös V.I. (2014). Итеративная визуализация данных наземного лазерного сканирования в строительстве. Loetud 16.04.2021 aadressil <https://docplayer.ru/61322588-Interaktivnaya-vizualizaciya-dannyh-nazemnogo-lazernogo-skanirovaniya-v-stroitelstve.html>

Savõchov S. D. (2014). Обработка данных лазерного сканирования. Loetud 4.04.2021

Softsolider kodulehekülg. Loetud 17.04.2021 aadressil <https://softsoldier.com/2021/01/12/visionlidar-2020-version-30-free-download/>

Solozobov O. (2016). Autodesk ReCap. Loetud 2.11.2021 aadressil <https://8d9.ru/program/autodesk-recap>

Tang P., Huber D., Akinci B., Lipman R., Lytle A. (2010) Automatic reconstruction of as-building onformation models from laser-scanned point clouds: A review of related techniques. Loetud 4.01.2022

Thomson C., Boehm J. (2015). Automatic Geometry Generation from Point Cloud for BIM. Loetud 17.03.2022

Thomson C., X Common (2018). 3D point cloud file formats & solving interoperability issues. Loetud 19.05.2021 aadressil <https://info.vercator.com/blog/what-are-the-most-common-3d-point-cloud-file-formats-and-how-to-solve-interoperability-issues>

Undet kodulehekülg. Loetud 18.04.2021 aadressil <https://www.undet.com/undet-for-sketchup-v2-0-release-whats-new/>

Wang C., Cho Y., Kim C. (2015). Automatic BIM component extraction from point clouds of existing buildings for sustainability applications. Loetud 13.01.2022

William E., Carter, Ramesh L., Shrestha, Clint Slatton K. (2007). Geodetic laser scanning. Article in Physics Today. Loetud 11.04.2021

3DFLOW kodulehekülg, Loetud 7.04.2020 adressil <https://www.3dflow.net/3df-zephyr-photogrammetry-software/>

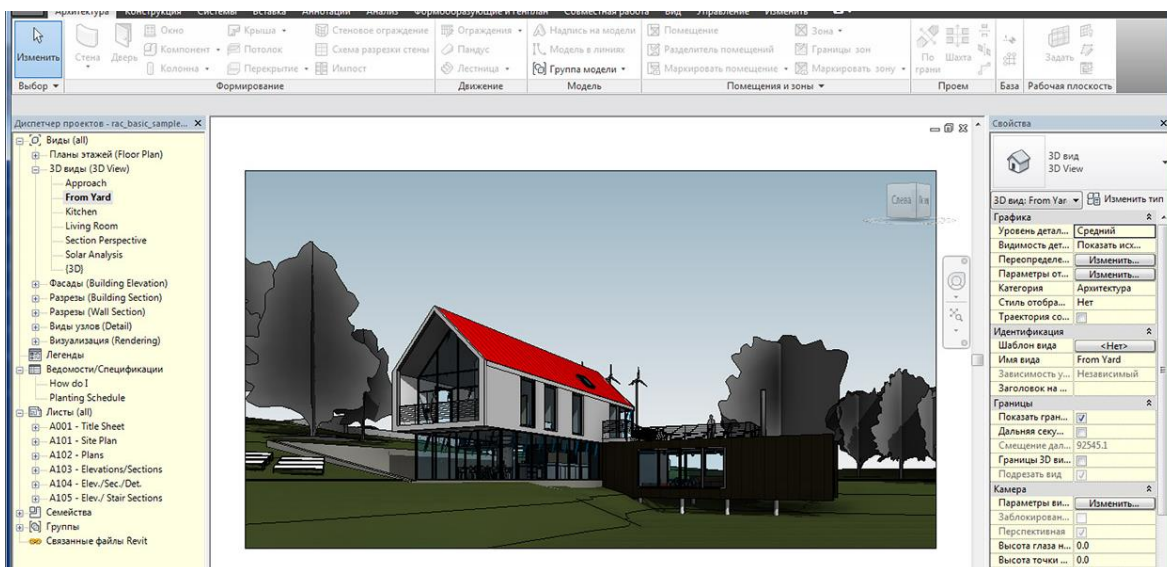
LISAD – TEISED VÕIMALIKUD MODELLEERIMISTARKVARAD

1 Revit

Autodesk Revit on täisfunktsionaalne programm, mis pakub arhitektuurse projekteerimise, insenerisüsteemide ja ehituskonstruksioonide projekteerimise ning ehituse modelleerimise võimalusi. Revit võimaldab luua igasuguse keerukusega ehituskonstruksioone ja insenerisüsteeme. Projekteeritud mudelite põhjal on spetsialistidel võimalus täpselt määrata vajalik materjalide kogus. [Revit, 2021]

Tarkvaras on võimalus luua samadest hoonetest, rajatisest ja süsteemidest erinevaid versioone. See aitab erinevatel ehitusetappidel, näiteks vanade hoonete või konstruksioonide lammutamisel. Eraldi tööriistad treppide ja piirete modelleerimiseks, redigeerimiseks ja dokumentatsiooni väljastamiseks. Eraldi toodud kommunikatsioonide šabloonid, mida saab kasutada projekteerimiseks ja mis suurendavad oluliselt projekteerimise efektiivsust. Revit töö käigus loob pealt kujundite jaoks automaatselt parameetriliste kujundid, pakkudes kõrget täpsus. Võimalus kasutada ehituskonstruksioonide projekteerimisel erinevate ehitusmaterjalide iseloomustavad tähised: telliskivi, monoliitne ja kokkupandav raudbetoon, puit, teras. [Revit, 2021]

Failiformaadi .rvt on projektifail, mis rühmitab korraga mitu skaneerimisfaili .rvt formaadis. Joonisel 45 on näidatud programmi Revit liides.



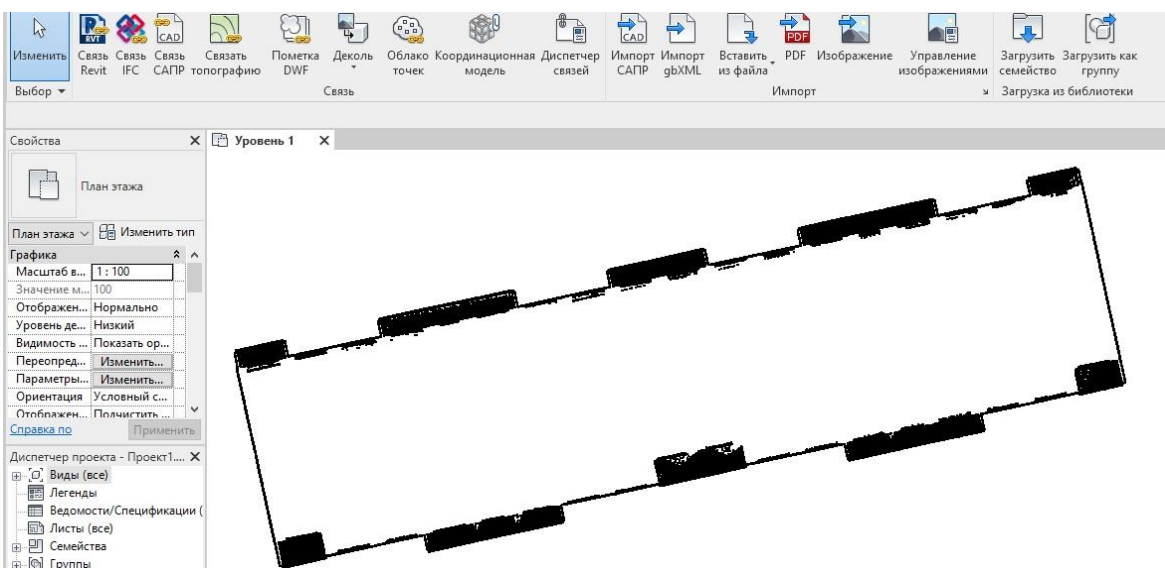
Joonis 45. Revit liides. [Revit, 2021] Programmi tööaken on kesksel kohal, paremal on ülesannete käitaja ja vasakul on toodud omadused valikus, üleval Autodeski tarkvara tööikoonid. Kogu vormistus on sarnane AutoCADiga, mis on Autodeski tarkvarade kasutajatele mugav ja arusaadav.

Revit tarkvara laaditi Autodesk kodulehelt tudengiversioonina üheks aastaks.

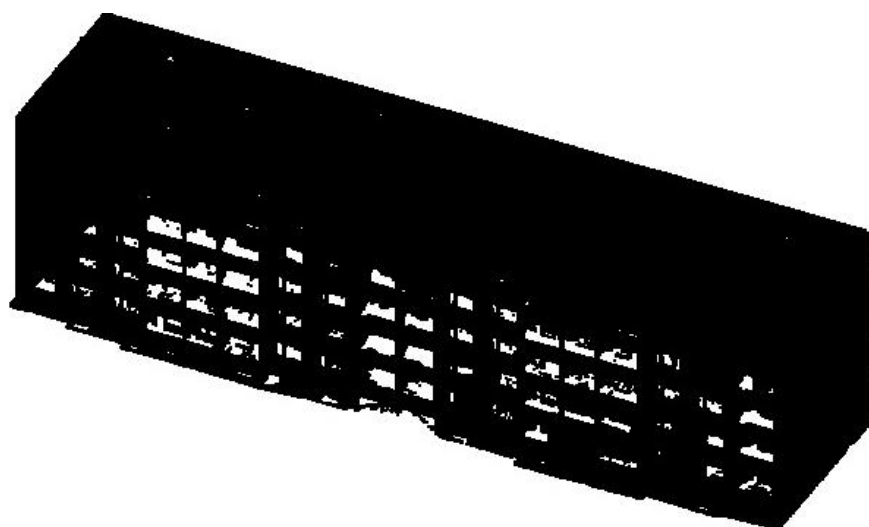
Programmis Revit töötamiseks on punktipilv vaja ette valmistada ReCapi, et see oleks täielik ja loetavas failiformaadis.

Autodesk ReCapi tarkvara abil tehti Akadeemia tee 5 hoone skaneerimisandmete teisendus formaati .rcp, mida saab avada Revitis ja vajadusel sellega edasi toimetada.

Seega imporditakse punktipilv Revit tarkvarasse. Esiteks avatakse pilv kahemõõtmelises vormingus – pealtvaade punktipilvest on toodud joonisel 46. 3D-vaate sisselülitamisel saab mudel tuttavama ilme (vt joonis 47).



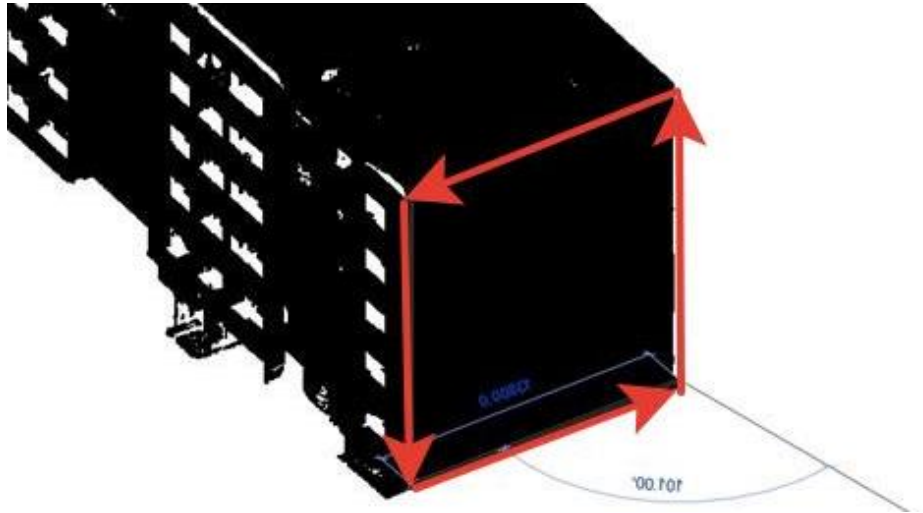
Joonis 46. Akadeemia tee 5A punktipilve kuvamine programmis Revit, 2D-s, pealtvaade. Vasakul on atribuudid, kus saab valida ja muuta objekti omadusi. Üleval on suured töökoonid. Kõik võimalikud tööriistad asuvad erinevates gruppides, mis on väga sarnane AutoCAD-i liidesega.



Joonis 47. Punktipilve kuvamine rakenduses Revit 3D-s. Punktipilv on väga tihe, automaatselt valitud must värv punktipilve jaoks.

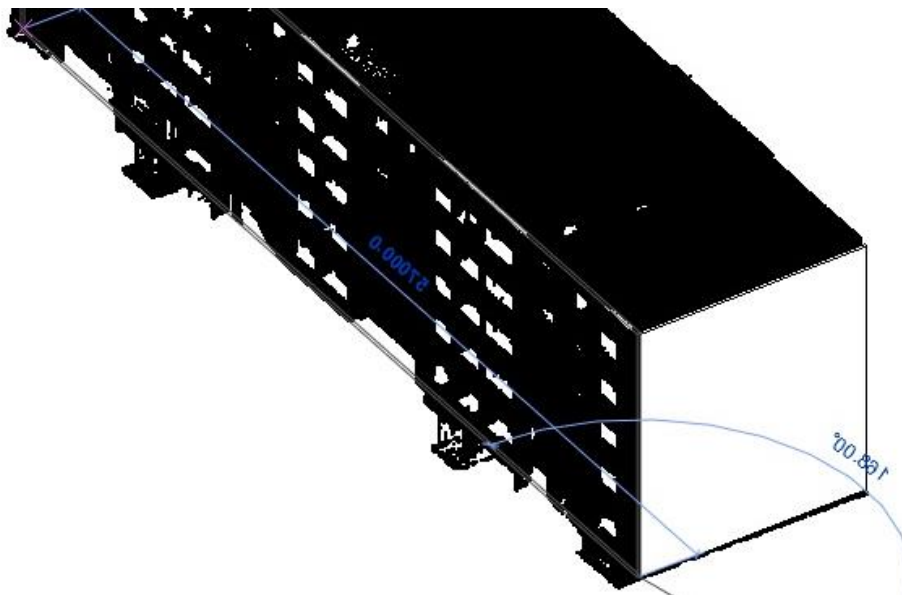
Tulenevalt asjaolust, et Reviti põhirõhk on arhitektuuril ja disainil, pole punktipilvedega töötamiseks palju võimalusi.

Punktipilvedest vertikaalsete ja muude objektide ehitamiseks saab kasutada tööriistu esemete (näiteks sein) joonestamiseks,. Samal ajal on seina kõrgust punktipilvel võimatu mõõta, seega peaks objekti kõrguse valima käsitsi. Seinte käsitsi konstrueerimise protsess on esitatud joonistel 48 ja 49.



Joonis 48. Seina konstrueerimine Revitis. On näidatud, kuidas sein valitakse käsitsi tasapinna konstrueerimiseks. Sein valitakse vasakult, kuna selles seinas pole aknaid ja muid takistavaid esemeid. Punased nooled näitavad trajektoori otsaseina konstrueerimiseks.

Käsitsi valimine on programmi peamine puudus, kuna lõputöö eesmärk on, et tarkvara määraks punktid vertikaalseks objektiks automaatselt.

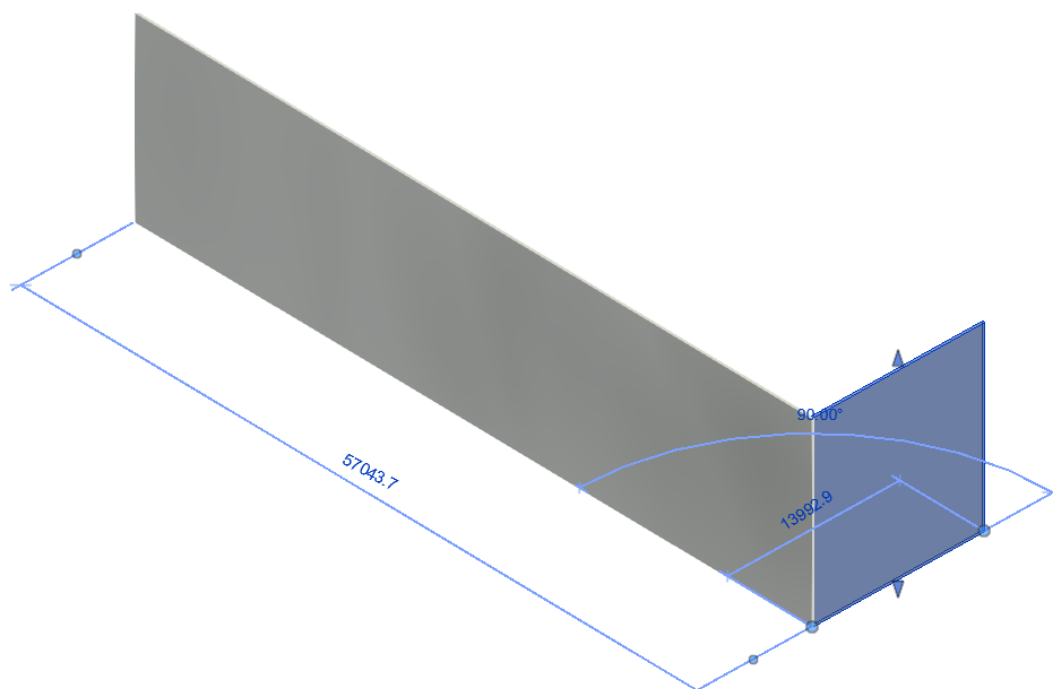


Joonis 49. Seina konstrueerimine Revitis. Valge ristkülik tähendab, et sein on valitud ja kohe valitakse ka paremalt poolt seina.

Samal ajal on ehitusprotsess väga vaevarikas ja pikk, kuna tegelikult on objektid ehitatud käsitsi ja vajavad pidevat punktipilve kohandamist, mille jaoks tuleb vaateid vahetada.

Valitakse vertikaalse objekti konstrueerimise töörist, selles tarkvaras on kasutatud *sein*. Määratakse omadused, kuna selles töös kasutatakse objektile lähimaid omadusi, sest see pole kõige olulisem. Kui objekt ise pole ühtlane ja on ebakorrapärsed kohad, siis peaks programmis vertikaalset mudelit nihutama nii, et see sobiks ideaalselt oma kohale. See tähendab, et nihutatakse mudelit nii, et saadud tulemus on sarnane tavalise seintele omaduste põhjal.

Saama meetodi kasutusel konstrueeritakse esisein ja saadud tulemus ilma punktipilveta näidatud joonisel 50.



Joonis 50. Konstrueeritud seinad tarkvaras Revit ilma punktipilveta. Külgsein ja esisein ideaalsed lähevad kokku ülemises nurgas ja alumises nurgas. Kuna konstrueerimine on käsitsi, siis seinad täiesti risti üksteisele ja vertikaalsed põrandast.

Saadud tulemused on koondatud tabelisse 14.

Tabel 14. Esiseina kujutava tasapinna saadud tulemused.

Külgsina pindala	208,500 m ²
Esiseina pindala	857,16 m ²
Erinevus vertikaalist	0 m
Kaldenurk horisontaalpinna suhtes	90 kraadi

Revit-tarkvara vertikaalsete objektide konstrueerimise põhitoimingute tegemise tulemuste põhjal saab teha järgmised järeldused.

Põhilised miinused:

- Puuduvad automaatsed tööriistad vertikaalsete ja muude objektide ehitamiseks punktipilvest;
- Punktipilve saab avada ainult RCP (punktipilveprojektid) ja RCS (punktipilved) formaadis, mis on eelnevalt ette valmistatud tarkvaras ReCap;
- Vähe tööriistu punktipilvedega töötamiseks;
- Hunnik tööriistaribasid ja nuppe geodeetide jaoks töötamiseks. Näiteks arhitektide ja disainerite jaoks on palju erinevaid funktsioone, mis aitavad lihtsustada nende tööd.

Peamised eelised:

- Suur tööriistakompleks projekteerimis- ja arhitektuuritööde teostamiseks.

2 3DF Zephyr

3DF Zephyr on kommertstarkvara fotogramm-meetria ja 3D-modelleerimise jaoks. Itaalia ettevõtte 3DFLOW kujundatud ja turustatud 3DF Zephyr ilmus esmakordselt 2014. aastal jaanuaris ja seda on sellest ajast pidevalt täiendatud. See on täielik fotogramm-meetria tarkvarapakett, mis sisaldab palju vahendeid järeltöötuse, mõõtmise ja 3D-modelleerimise jaoks. [3DFLOW, 2021]

3DF Zephyr oli üks esimesi fotogramm-meetria tarkvarasid, mis oli mõeldud nii professionaalidele kui ka harrastajatele. Kõik 3DF Zephyr paketid kasutavad sama patenteeritud See tarkvara võimaldab teha 3D-rekonstrueerimist nii fotodelt kui ka videotest, eraldades filmilõike automaatselt ja valides arvutuste jaoks kõige sobivama. [3DFLOW, 2021]

Tarkvara liides on näidatud joonisel 51.



Joonis 51. Näide 3DF Zephyris piltide põhineva mudeli loomise kohta [3DFLOW, 2021]. Terve pilt koosneb väikestest fotolõikudest. Fotod on hästi ühendatud, nii et sidumislõigud pole nähtavad.

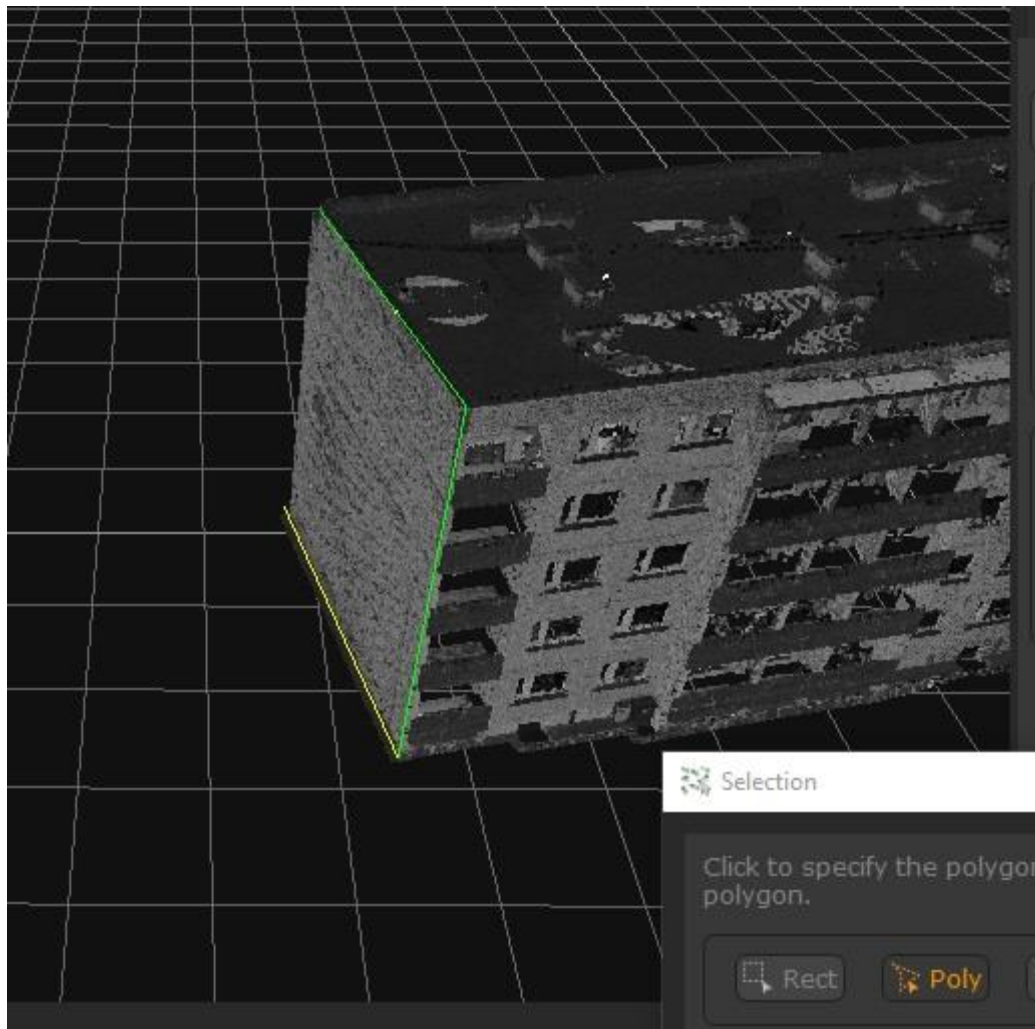
Punktipilv selleks tööks imporditakse tarkvarasse (töös kasutatakse tasuta prooviversioon 1 kuuks) PTS-formaadis (vt joonis 52), mis on eelis, et tarkvara ei nõua teisendusi teistesse formaatidesse (näiteks mida nõuab Revit). Käesolevas töös imporditakse tarkvarasse terviklik punktipilv (maht 1 224 986 KB).



Joonis 52. Punktipilv 3DF Zephyr programmis. Punktipilv kuvatakse täies ulatuses. Rõdud ja aknad on hästi eristatavad. Programmi stiil on must ning tarkvara värvib punktipilve mustaks ja halliks. See tekitab kohati probleeme objekti vaatamiseks. Kahjuks, tarkvara ei võimalda muuta stiili või värve, et saaks arusaadavam vaadata projekte. Hilisema uurimuse osas on värve võimalik muuta, ent tudengi programmi kasutuse ajal töö autor selleni ei jõudnud.

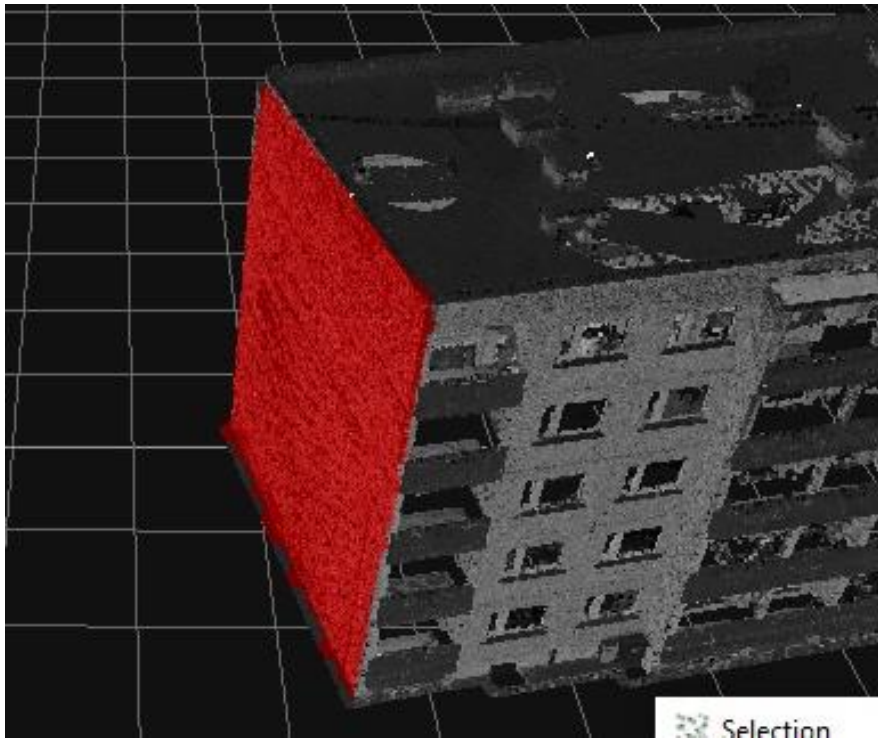
3DF Zephyr´il on punktipilvedega töötamiseks palju tööriistu, näiteks punktide erineval viisil valimine, kopeerimine, kustutamine, kärpimine.

Töös valitakse külgeina punktid valikutööriista abil: tõmmatakse hulknurk ümber valitava ala, misjärel kõik muud punktid eemaldatakse projektist nii, et alles jäävad ainult külgeina punktid (vt Joonis 53, 54, 55).



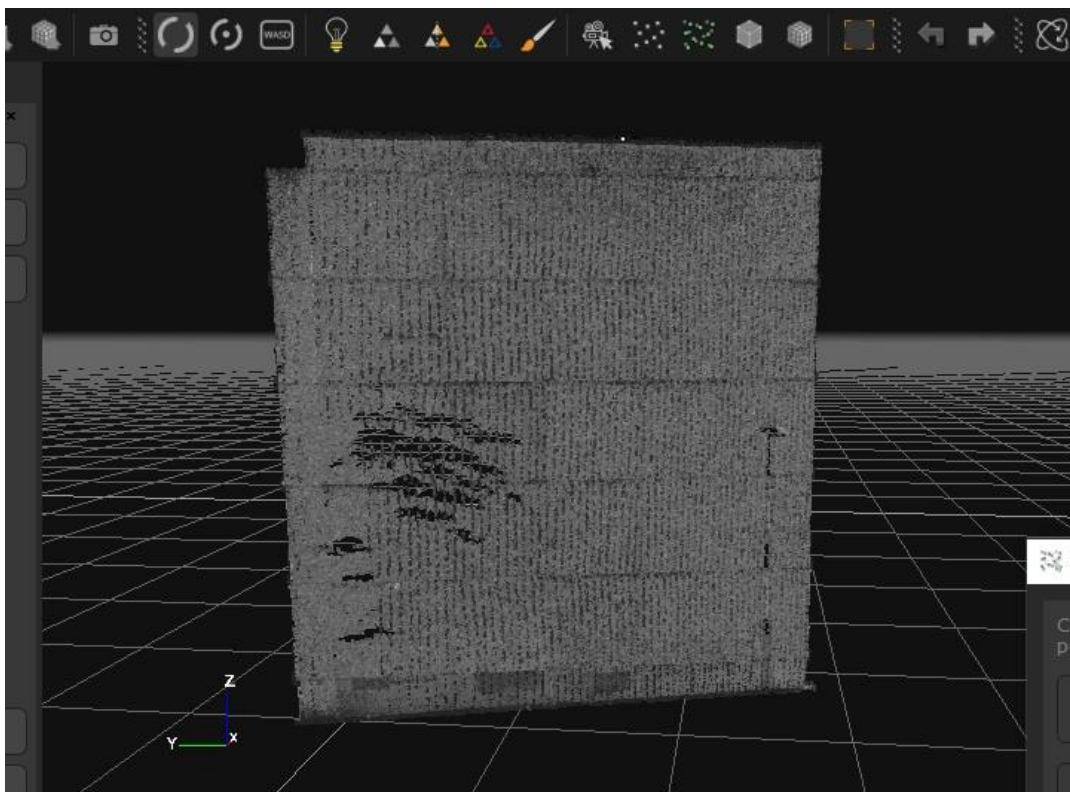
Joonis 53. Punktide valimine polügooni joonistamise teel. Roheline joon näitab, kuidas esimesena valiti punktid. Kollane joon – teine tegevus. Joonisel on näha, et jooned on sirged ja valitud punktidel eristu teistest ühelgi viisil.

Siin autor valib ise joonestab punktist punktini *polyline*ga jooned ja see joon valib punktid millised sattuvad joonele. Kolme joone on piisav tarkvara aru saamiseks, et tehakse valida ristküliku.



Joonis 54. Valitud külgeina punktid. Punasega on näidatud kõik valitud punktid.

Mõned valitud kohad on ebatäpsed, see parandatakse järgmises etapis. Joonise 54 puhul valitakse terviklik ristkülik ehk sein, aga tarkvara poolt. Isegi tarkvara valib mõnedes kohtades natuke rohkem punkte, näiteks all.



Joonis 55. Ainult külgeina punktid tarkvaras 3DF Zephyr. Tühimikke näitab hõredamat punktide tihedust.

Tsentris mõned tühjad kohad, millised võib olla põhjustatud skaneerimise tõttu, või tarkvara valikust. Selles etapis kustutakse lisapunktid, millised ei peaks sattuda, aga oli valitud tarkvara poolt (vt joonis 55).

Tarkvara ei luba juba valitud osa punktidega täiendada. Tühjad kohad jäävad nii nagu on. Tarkvaras saab kärpida ja kustutada liigsed punktid, aga täiendada või punkte juurde valida terviklikust punktipilvest ei saa.

Kuna programm on sarnane ReCapi programmiga, siis võib seda kasutada ka samal eesmärgil, ent käesolevas töös 3DF Zephyr programmi tulemusi edaspidi ei kasutata.

3 PointCab

PointCab tarkvara kasutatakse maa – ja õhulaserskannerite saadud punktipilve kiireks töötlemiseks.

Tarkvara annab võimaluse keerukaid punktipilve moodustada automaatselt lihtsaid geomeetrilisi kujundeid ja edasi toimetada kõikides CAD-programmides. [PointCab, 2021]

PointCab pakub erinevaid mooduleid, et kasutaja saaks valida, mida ta konkreetselt soovib: „Layout“ (ortofotoplaanide konstrueerimiseks), „panorama“ (panoraamide konstrueerimine), „profiler“ (profiilide koostamine), „sketch“ (nurkade ja pindade mõõtmiseks). [PointCab, 2021]

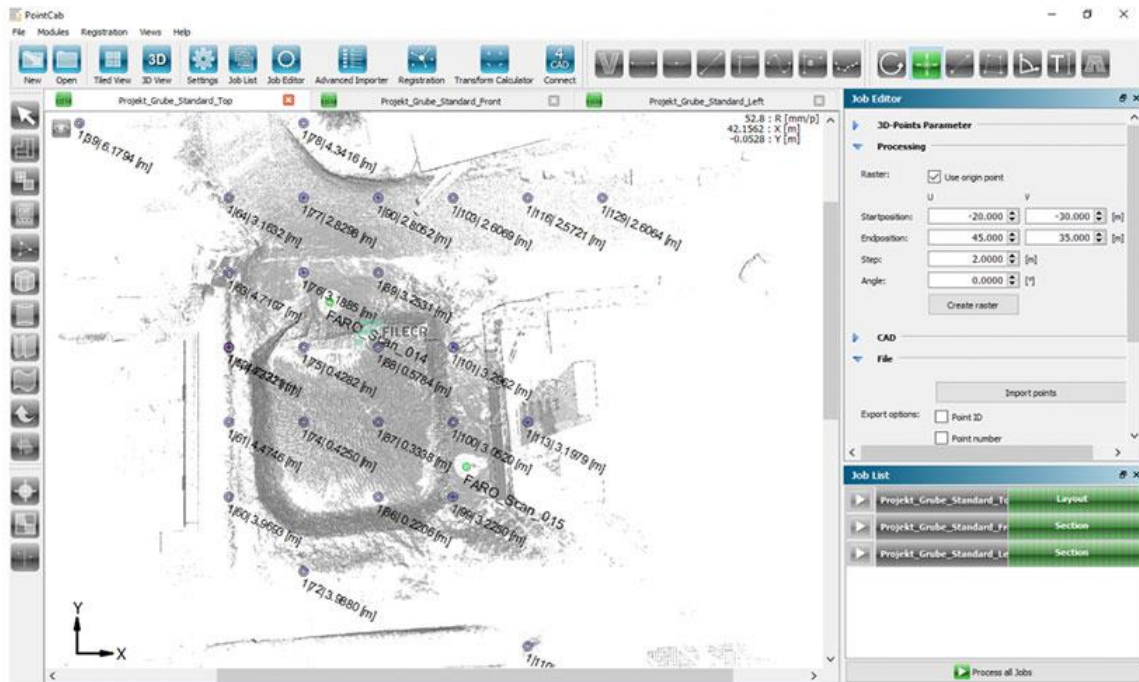
PointCab toetab andmete importimiseks järgmiseid laserskannereid, nt FARO, Leica, Trimbe jnd (mis kasutavad universaalseid formaate e57, las, laz, xyz.). [PointCab, 2021]

Andmete eksportimiseks toetab tarkvara järgmiseid CAD-süsteeme, nt AutoCAD, Revit, Bentley jnd. [PointCab,2021]

PointCab 4Revit koosneb Reviti programmist ühendatud PointCabi tarkvaraga. Lahendust on lihtne õppida ka kogeenematute kasutajate jaoks ning see annab kiiresti muljetavaldavaid tulemusi. [PointCab,2021]

PointCab 4Revit välistab Autodesk Reviti keeruka ja kuluka punktipilveandmete importimise, navigeerimise ja mõõtmise. Programm annab võimaluse täielikult keskenduda oma mudeli loomisele. Selle saavutamiseks ühendab PointCab otse Revitiga ja edastab 3D-teavet seinte, uste loomiseks ja aknad, sambad ja tarvikud. [PointCab,2021]

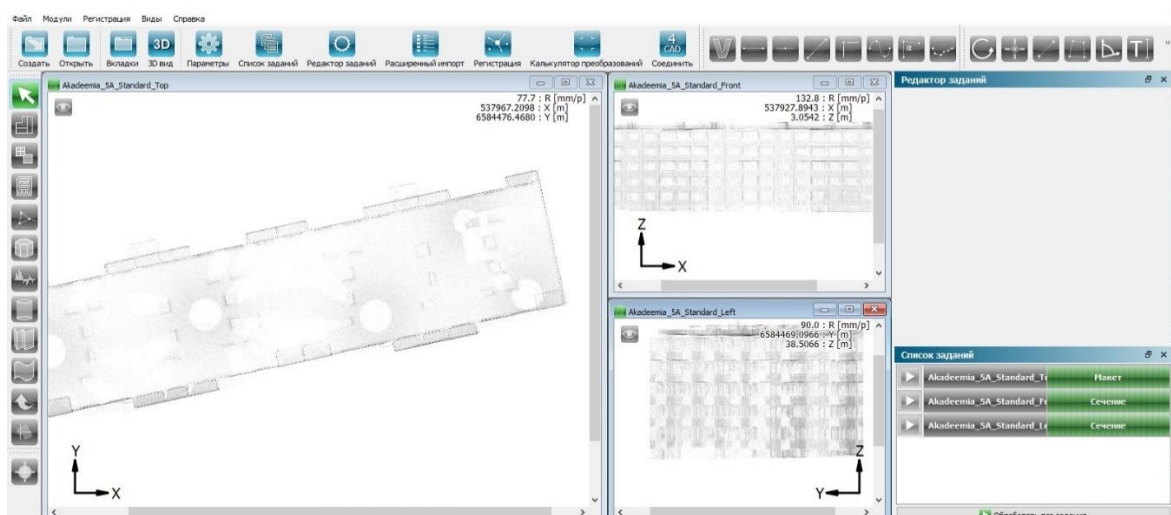
Joonisel 56 on näidatud programmi Leica Cyclone liides.



Joonis 56. PointCab liides. [PontCab, 2021] Mugav ja intuiitivne liides, mis pole tööriistaribadega ülekoormatud.

PointCab tarkvara prooviversioon lubab ainult 24 tundi töötamiseks ja 3 projekti salvestust, mis seab suured ajalsed piirangud ja ei anna võimalust uurida kõiki pakutud tasuta tööriistu ja nuppe.

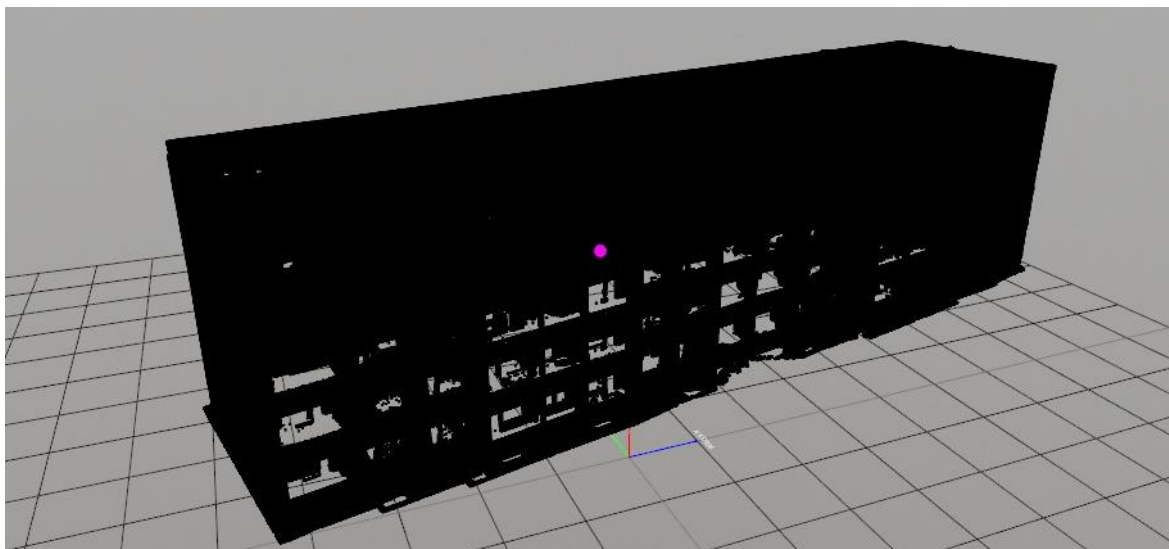
See tarkvara toetab põhilisi punktipilveformaate (*e57*, *las*, *laz*, *xyz*), mistõttu olemasolev PTS-punktipilv imporditi programmi (vt joonis 57).



Joonis 57. Punktipilv PointCabis. Vasakul on näidatud vaade ülevalt. Keskul üleval on tööaken esivaatega ja all on aksonomeetria. Paremtal on tööaken ülesande redaktoriga.

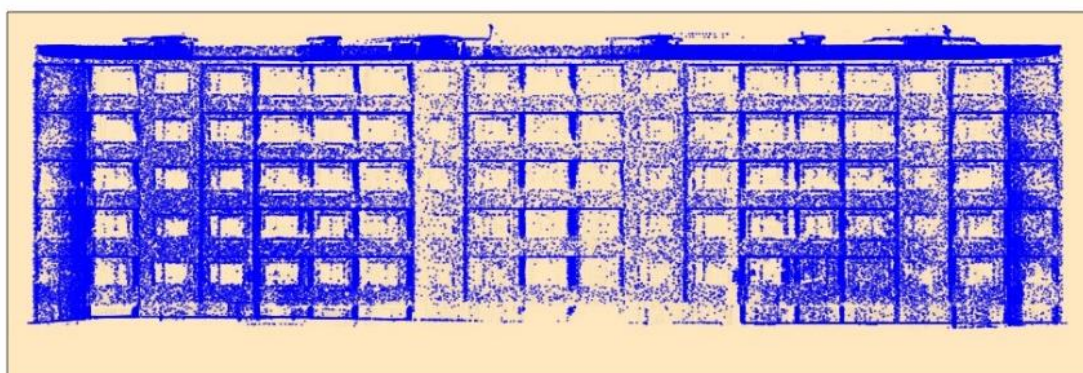
Programmi funktsioonina võib märkida, et kasutaja mugavuse huvides avanevad korraga mitu akent: alt-, esi-, aksonomeetria ja ülesande redaktor. See tööaken

võimaldab objekti hallata, annab võimalusi sätteid muuta nii, et töö selles tarkvaras oleks mugav ja kiire. Siia saaks lisada ka 3D-vaate (vt joonis 58).

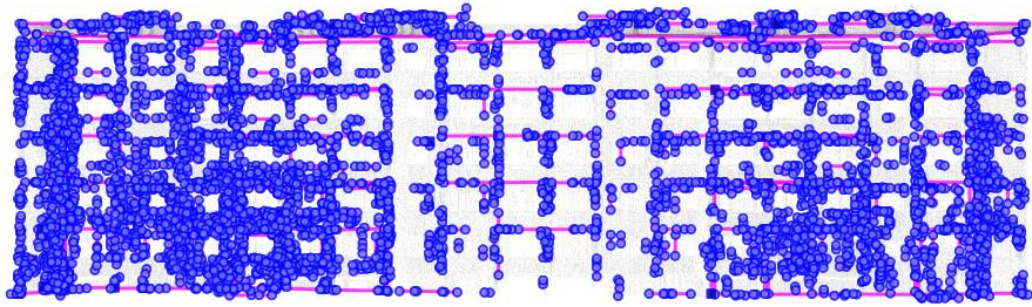


Joonis 58. Punktipilve 3D-vaade. Punktide värv programmis on must, mistõttu tihe punktipilv kogu hoonest on joonisel veidi häiriv, ent vajalikku ala suurendades muutub pilt arusaadavamaks.

Programmi peamine eelis on punktide automaatne vektoriseerimine. PointCab analüüsib punktide asukohta, saab aru punktide paiknemist ja tihedust ning ühendab punktid sirgetele joontele. Selleks valitakse vahekaardil „Moodulid“ funktsioon „Vektoriseerimine“, seejärel valitakse huvipakkuv ala (vt joonis 59) ja protsess algab.



Joonis 59. Automaatse vektoriseerimise alustamine. Töötab automaatne vektoriseerimine kiiresti, umbes 10 minuti jooksul. Vasakult ja paremalt poolt on tihedus suurem kui keskel, mis on tingitud hoone skaneerimisjaamade valikust. Vertikaalsed jooned on üsna sirged ja risti horisondiga. Mõnes kohas on aknapinnad täidetud siniste täppidega, mis ei vasta tegelikkusele. Punktipilv laetakse tarkvarasse nii nagu saadud skaneerimiselt, st et punktipilve ei ole puhastatud ega muul viisil töödeldud. Joonisel 60 on näidatud automaatse vektoriseerimise meetodiga saadud tulemus.

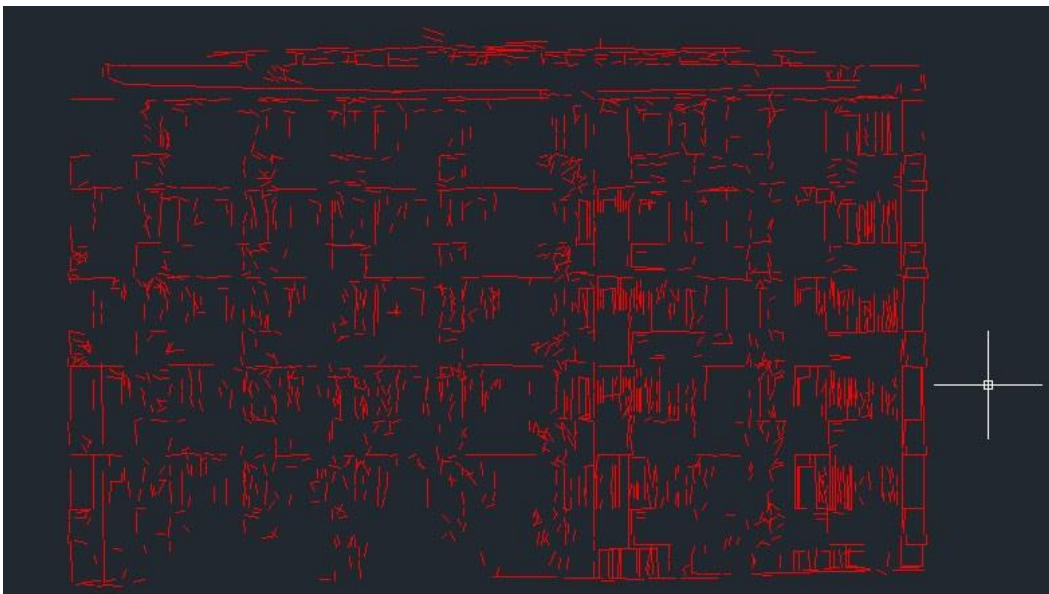


Joonis 60. Automaatse vektoriseerimise tulemus. Automaatselt valitud punktid terve punkt pilvest, mis on tähistatud siniste ringidega. Mõnda siniseid ringe tõmmatakse roosad jooni ehk vektoreid. Mõnes kohas jooned katkevad, mis on tingitud punkt pilve tihedusest antud paigas. Sellised kohad vajavad käsitsi parandamist.

Jooned moodustavad fassaadi kahemõõtmelise joonise, kuid neid jooni saab teisendada ka 3D-vaateks. Vektoriseerimine annab tasapinnalise joonise joonte ja punktide näol. Selle aluseks on põhiliselt olemasoleva punkt pilve tihedus.

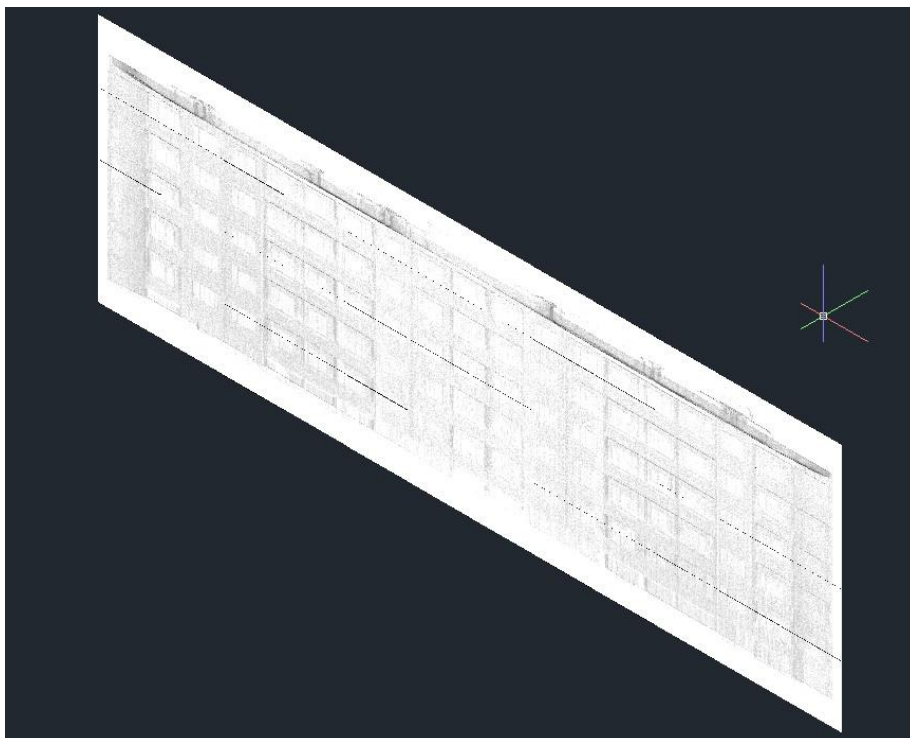
Joonistatud roosad jooned saab salvestada projektina ja teisaldada DWG, DXF, 3DS, XYZ vormingutesse, mida saab avada teistes programmides ja töötada juba joonistatud joontega. Siiski ei ole PointCabi võimalik ehitada täies mahus objekte, näiteks tasapindu, seinu. See on programmi peamine puudus.

Seega võib eelisesena välja tuua asjaolu, et programmil on suurepärased võimalused automaatseks vektoriseerimiseks ja seeläbi kahemõõtmeliste jooniste koostamiseks. Kindlasti tasuks punkt pilved enne tarkavaras töötlemist korralikult puhastada ja ebavajalik eemaldada, sellisel juhul jääks ka tulemus parem (vt joonisel 61).



Joonis 61. Vektoriseerimise tulemus, mis eksporditakse AutoCAD-i keskkonda. Vertikaalsed ja horisontaalsed jooned on näidatud punasega. Sellised jooned konstrueeritud punkt pilvest.

Selline projekt vajab palju lisa tööd. Kui punktipilv on väiksem ja lihtsam, siis see meetod sobib konstrueerimiseks ja töötlemiseks edasi. Samuti saab PointCabis punktipilve töötlemise tulemuse eksportida rasterina (vt joonis 62).



Joonis 62. Tulemus rasteri vormis. Pandud AutoCAD-isse.

Siis kui soovitakse edasi töödelda selle failiga, siis saab joonestada ja konstrueerida vertikaalsed elemendid Kuna see töö on puhas käsitsi töö, siis seda meetodid edasi ei vaadeldakse.

Kuna programmil olid suured ajapiirangud ja programm ise ei võimalda automaatseid tasapindu moodustada, siis edasi seda tarkvara siinses töös ei uurita.

4 ReCap

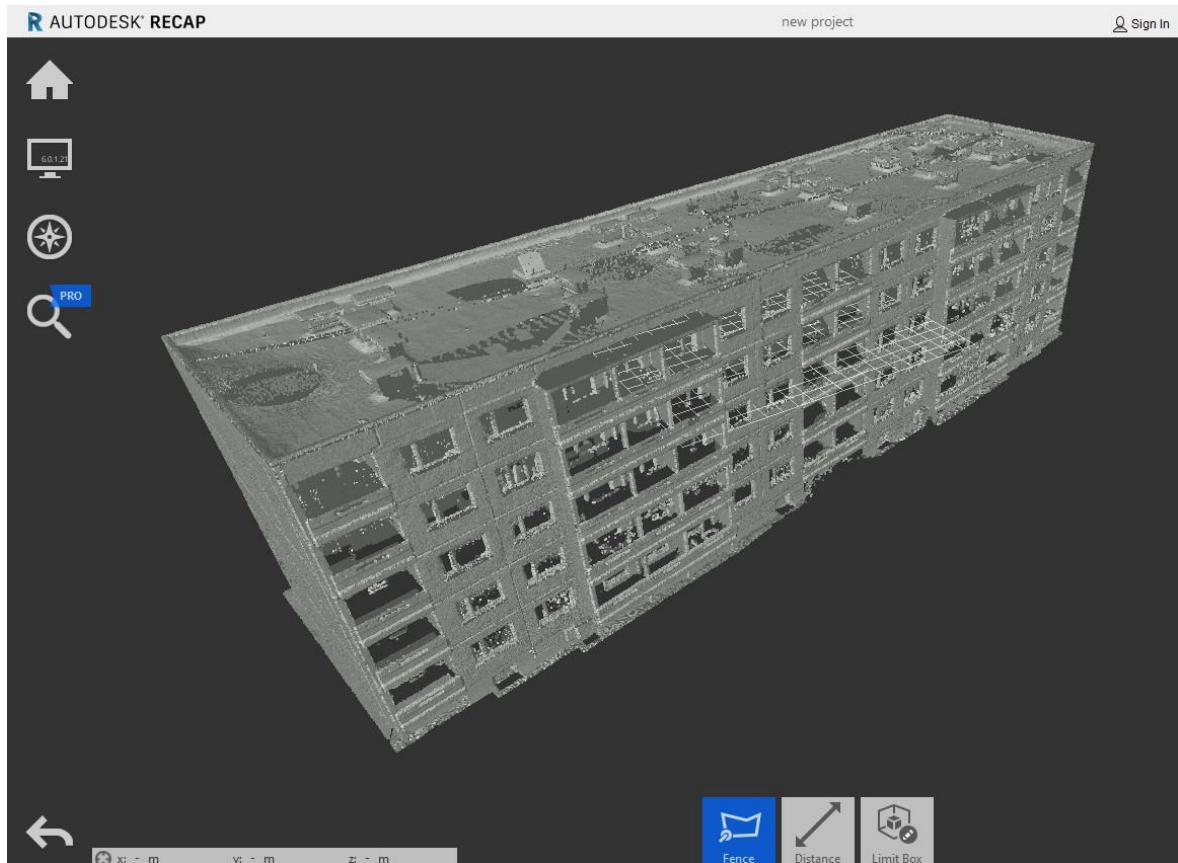
ReCap tarkvara on vaheplatvorm punktipilve ettevalmistamiseks teiste programmide jaoks. See võimaldab punktipilvega teha erinevaid toiminguid – valimine, kärpimine, värvimine, märkmete sisestamine. Tulemused salvestatakse RCP, PTS, RCS või E57 formaadis. Geomeetriliste objektide ehitamiseks programmil võimalused puuduvad. Samuti väärub märkimist programmi üsna lihtne ja sõbralik liides. [ReCap, 2021]

ReCap saadab segmenteerida punktide andmeid, mis võimaldab tuvastada punktipilves olevate punktide rühmad, mis on tasased ja silindrilised. Kolmemõõtmeliste mudelite loomiseks kasutatakse andmeid, mis on saadud optiliste seadmete või laserskannerite abil. Võimaldab saavutada üsna kõrge detailsusastme tänu punktipilvedele. Tänu

tarkvarale saab faile ja andmeid kiiresti ja lihtsalt valmisprojektideks teisendada. Mudeli valmistamist lihtsustab automaatse puhastamise võimalus. [ReCap, 2021]

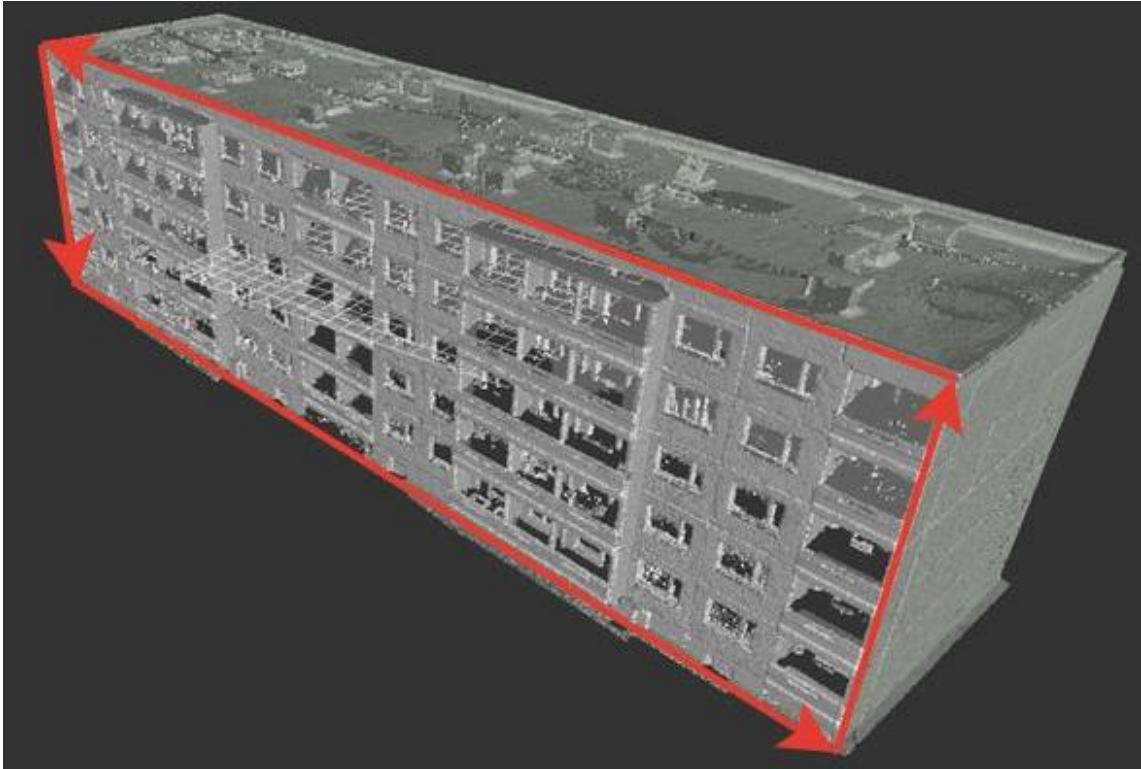
Valitud tarkvarade uurimiseks on vajalik punktipilve esialgne töötlus. Selleks saab kasutada programmi ReCap. Käesoleva töö jaoks oli võimalik alla laadida tarkvara tudengiversioon 30 päevaks.

Akadeemia tee 5A punktipilv (maht 1 224 986 KB) imporditi ReCap tarkvarasse .pts formaadis (vt joonis 63).

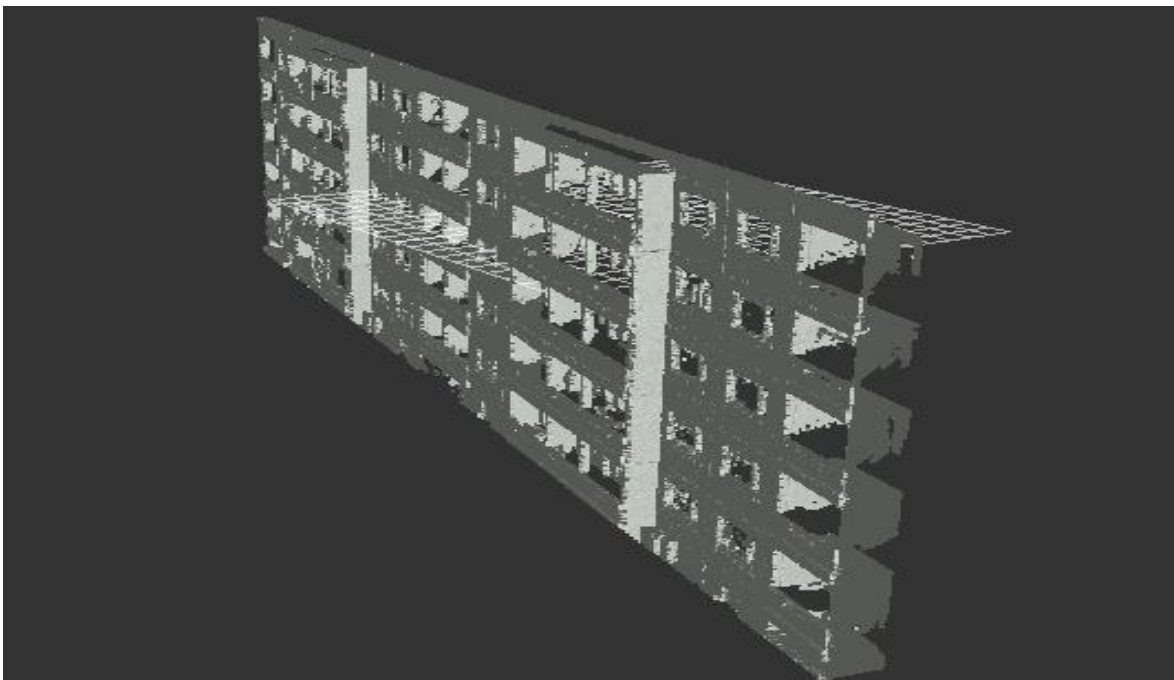


Joonis 63. Punktipilv ReCap tarkvaras kolmemõõtmeliseks. Laetud punktipilv üsna tihe, ukсед, aknad ja tühjad kohad on selgelt eristatavad.

Joonisel 64 on valitud hoone üks sein kogu punktipilvest. Valitud sein on helehall, joonisel markeeritud punase joonega.



Joonis 64. Vertikaalse objekti valimine – hoone sein kogu punktipilvest. Punased nooled näitavad autori poolt esiseina valimise trajektoori punktipilvest.



Joonis 65. Valitud vertikaalse objekti kärpimine. Ettevalmistatud vertikaalne objekt (sein) edasiseks tööks erinevates programmides (maht 16 KB). Esisein on punktipilvest eraldatud ja välja lõigatud, objekt imporditakse järgnevatesse programmidesse eraldiseisvana .rcp formaadis. Samamoodi eraldati ka hoone teine külg edasiste töötluste tarvis (maht 4 KB, formaat .pts).

ReCap tarkvaraga saab eraldada, lõigata seinu, aga siin neid ei kasuta, sest põhimõtteliselt uuritud tarkvarade jaoks on ühine algülesanne.

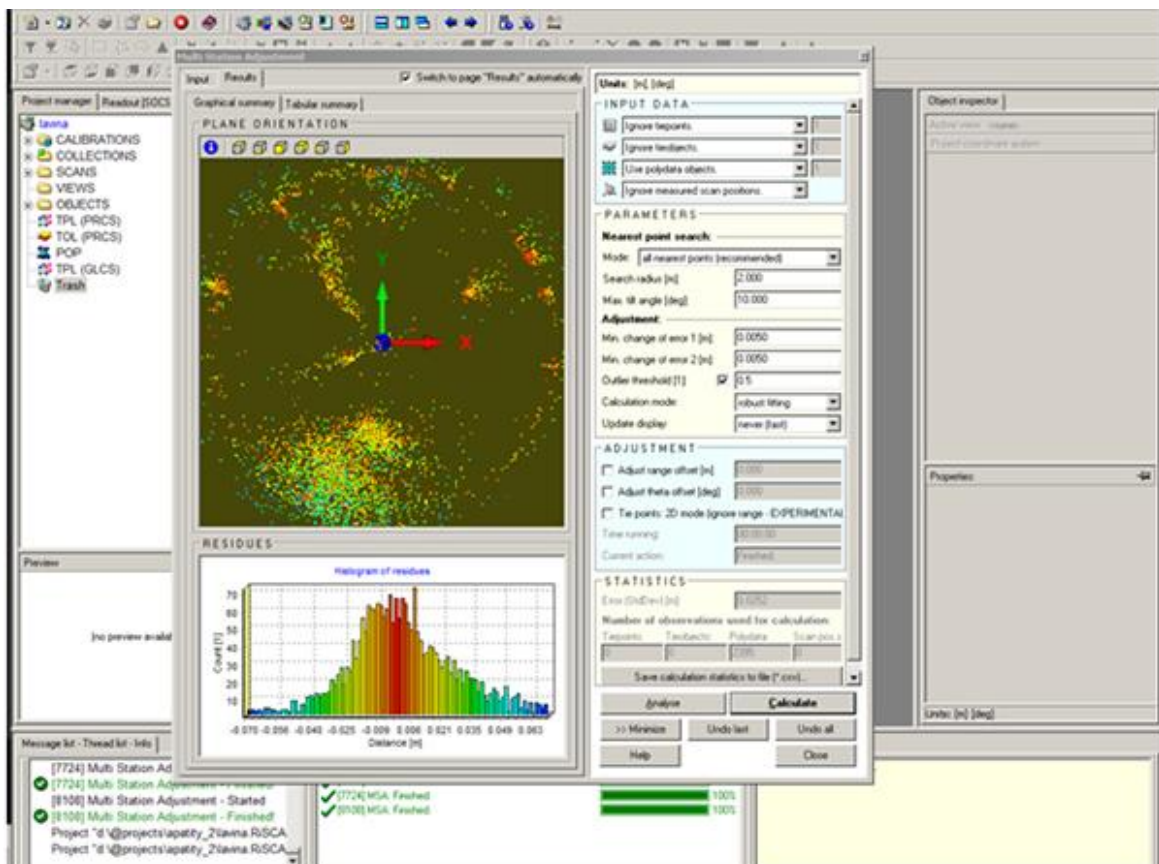
5 RiSCAN PRO

RiSCAN PRO – on projektile suunatud toode, mis tähendab, et kogu mõõtmisprojektiga saadud andmed on korrastatud ja salvestatud vastavalt RiSCAN PRO projekti struktuurile (tekstifailina XML formaadis). [Geo-plus, 2021]

RiSCAN PRO eesmärk on optimeerida maapealse laserskaneerimise tehnoloogilist protsessi ja pakkuda kasutajale tööriistu skaneeritud andmete terviklikkuse visuaalseks kontrollimiseks kolmemõõtmelises vormis kohe maapealse skanneriga välimõõtmiste ajal. [Geo-plus, 2021]

RiSCAN PRO-s on projektifailide ülesehituseks kasutatud XML-vorming ja selle tehniline dokumentatsioon on avalik, mis hõlbustab vajaduse korral juurdepääsu kogu projektiteabele, et hiire kilkega avaneb pääs projekti infole. [Geo-plus, 2021]

Joonisel 66 on toodud RiSCAN PRO liides, on näidatud selle programmi menüü ja üldine disain.



Joonis 66. RiSCAN PRO liides [Geo-plus, 2021]. Tarkvaras saab vaadata punktipilve punktide tihedust erinevates värvides. Sätete abil saab vaate esitada kolmes eri tasapinnas.

Kirjeldatud tarkvara käesoleva töö jaoks ei kasutatud, sest pärast punktipilve laadimise algust programm sulgus ja edasised tegevused ei andnud tulemusi. Spetsialisti kaasamisel oleks selle programmi uurimine järgmiste tööde jaoks hea algus.

6 Pointly (Supper & Supper GmbH)

Pointly on Supper & Supperi välja töötatud tarkvara andmepunktide ja objektide automaatseks klassifitseerimiseks ja segmenteerimiseks 3D punktipilvedes. Tänu uuenduslikele tehisintellekti tehnikatele on objektide tuvastamine ja andmete klassifitseerimine kiirem ja täpsem kui kunagi varem. [Pointly, 2020]

Programmi põhijooned:

- Uuenduslike tehisintellekti lähenemisviiside abil saab minimaalse vaeva ja suure täpsusega valida erinevates seisudes tehtud punktipilvedest ühiseid punkte.
- Graafiline kasutajaliides on selgelt struktureeritud, hästi korrastatud ja tagab kiire juurdepääsu kõigile funktsioonidele.
- Kasutab Microsofti kiireid, paindlikke ja Azure'i (pilveplatvorm, mis annab võimaluse arendada, käivitada rakendusi ja salvestada andmeid serveritesse) turvalisi pilve andmetöötlusteenuseid Microsoftist. Protsesside paralleelne töötlus võimaldab paindlikku ja iseseisvat skaleeritavust isegi suurte andmemahutude töötlemisel.
- Tugineb otseselt kaasaegsetele renderdamismootoritele, mis on võimelised kuvama kuni miljardeid punkte sisaldavaid punktipilvi. Brauseripõhine rakendus võimaldab detailide taset pidevalt skaneerida ja sujuvalt muuta.
- Kõik, mida Pointly kasutamiseks vaja, on juurdepääs Internetile ja veebibrauser. Installimist pole vaja, saab lihtsalt registreeruda. Pole vaja investeerida andmekeskustesse, välisesse riistvarasse ega hooldusesse. [Pointly, 2020]

Joonisel 67 on näha Pointly tarkvara liides.



Joonis 67. Pointly liides [Geoinformatics, 2020]. Tarkvara pole töötamiseks ikoonidega üle koormatud. Tööaken on suur ja tööriistade valik on vasakul.

Pointly punkt pilve andmete töötlemiseks on vaja selle punkt pilve tarkvara link Interneti kaudu üles laadida. Prooviversioon lubab laadida faile, mille suurus ei ületa 15 megabaiti.

Akadeemia tee 5A punkt pilv on üle 1 gigabaidi. Selles programmis töötamiseks on vaja töös vaadeldud punkt pilve kärpida, et lubatud suurust mitte ületada. Ent kuna valitud punkt pilv on suur ja isegi ühe seina valimisel on punkt pilve suurus üle 15 megabaiti, siis programmi ei saa käesoleva töö jaoks kasutada.

Programmil puuduvad automaatsed tööriistad.

7 Reconstructor (Gexcel)

Gexcelil on rikkalik ajalugu, mis hõlmab üle 10 aasta tõestatud täisfunktsionaalset LiDAR-i (Light Detection and Ranging) ja pildianalüüsi tarkvara, mis ühildub kõigi suuremate laserskanneritootjate lidar-anduritega, näiteks DotProduct, Faro, Geomax, Riegl jnd. Gexcel on praegu turul uuenduslike mõõdistamisvahenditega ning on koos mitmete partneritega esirinnas laserskanneril, SLAM-il (Simultaneous Localization and Mapping) ja digitaalsel fotogrammeetrial põhinevate uuenduslike lahenduste väljatöötamisel. [Rierini, 2020]

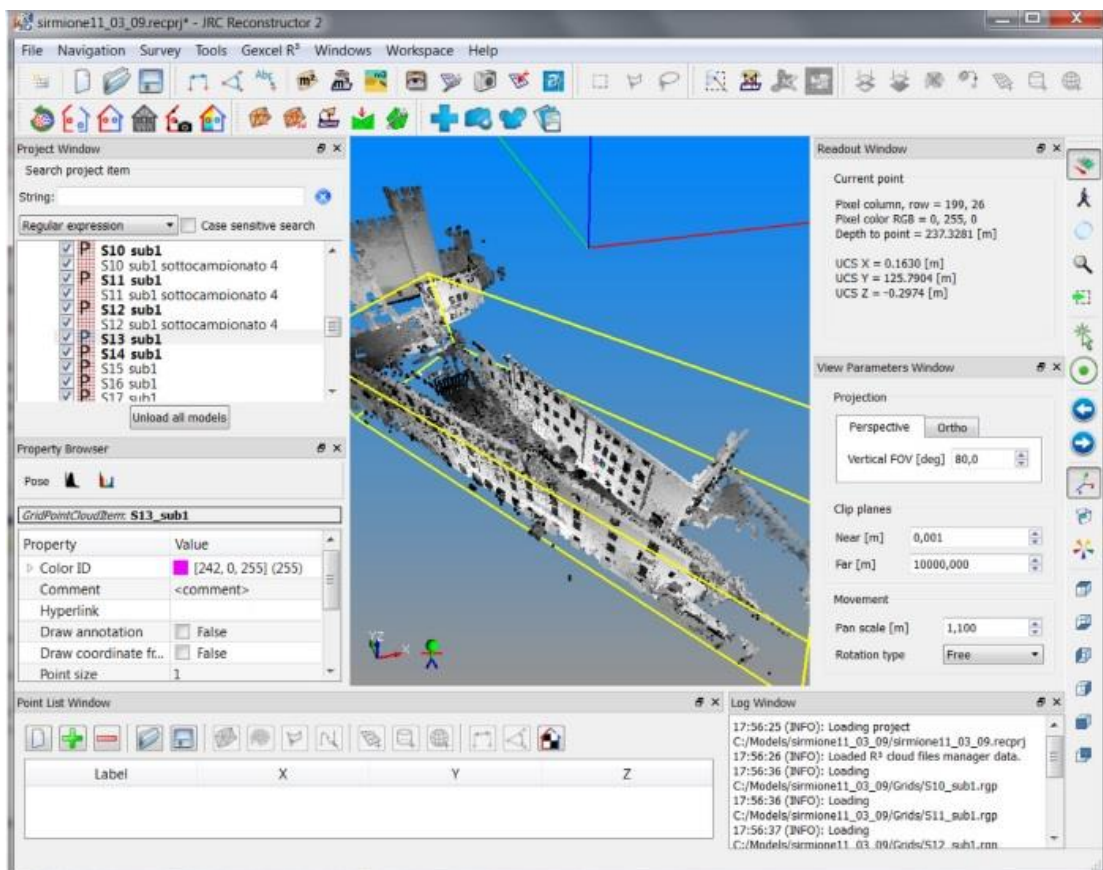
Reconstructor on multifunktsionaalne tarkvara mitmesuguste 3D-skanneritelt (maapealse, mobiilsed, õhupõhised) saadud andmete töötlemise ja analüüsimisega seotud ülesannete täitmiseks, millel on võimalus kasutada kõrglahutusega fotopilte. Peamine eelis on viite sõltumatus konkreetsetele skaneerimissüsteemide töötajatele ja

võimalus projekti andmeid edaspidise töötlemise hõlbustamiseks mitmel viisil uuesti proovida. Programmi genereeritud projektfailid ja elemendid on struktureeritud XML-failidena, mida saab hõlpsalt sõeluda ja muuta, 3D-teave ja värviteave salvestatakse binaarsete vektoritena eraldi failides, mida saab avada vajamata ühtegi varalist failivormingut. See võimaldab kiiresti erinevate rakenduste vahel teavet vahetada. Veelgi enam, aruandeid saab luua märkuste, 3D-ülevaatuste ja animatsioonidega, mida saab filmi salvestada. [Pierini, 2020]

Rekonstruktori programmi põhivõimalused:

- Struktureerimata andmete import ka erinevatest 3D-punktpilvedest ja CAD-mudelitest.
- Täiustatud filtreerimine, automaatne ICP (Iterative Closest Point) joondamine ja liidete seadmine, ruumiline viitamine
- Võrgu, kõrglahutusega tekstuuride, ala ja mahu teabe eksport CAD-i ja modelleerimistarkvarasse. [Pierini, 2020]

Joonisel 68 on Reconstructori tarkvara tööaken.



Joonis 68. Reconstructori liides [Pierini, 2020]. Tarkvara liiga koormatud ikoonide ja funktsioonidega. Isegi tööaken on väga väike. Suurem osa on hõivatud erinevate seadete ja tööriistadega

Programm ei toeta PTS-failide importimist. Konverteerimist teise formaati tudengil ei õnnestunud. Kuna tavalist konverteerimist ei saa teha, siis on vaja leida spetsiaalset programmi, mis teisendab ja ei muuda andmed, mis on faili sisse pandud. Selles programmis punktipilvede töötlemine on ebaõnnestunud, sest tasuta versioonis olevad piirangused ei luba laadida alla suure mahuga punktipilve ja automaatselt töödelda sellega. Kuna eesmärk oli kasutada kõikides tarkvarades sama tingimuste põhjal punktipilve tervikuna. See tarkvara ei luba laadida punktipilve mahuga 1 224 986 KB .pts formaadis.

8 Trimble RealWorks (Trimble)

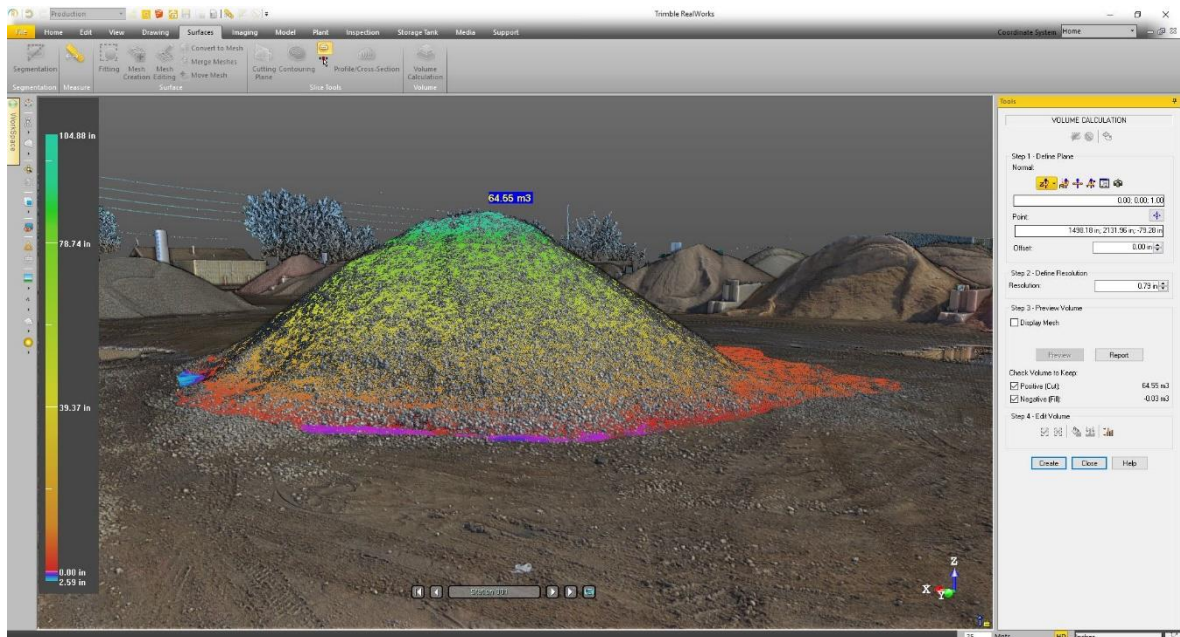
Ameerika ettevõtte Trimble Navigation on spetsialiseerunud geodeetiliste seadmete, satelliidivastuvõtjate tootmisele ja laserskanneritele ning arendab ka tarkvara laserskaneerimise andmetöötluste jaoks – Trimble RealWorks. Süsteem pakub kõiki vajalikke juhtimisfunktsioone, andmete vaatamist ja esmast töötlemist. Arendajad väidavad, et RealWorks võimaldab tõhusalt töötada väga suuremahuliste andmetega tänu osalisele andmete laadimise režiimile. [Karavanov, 2020]

Põhilised funktsioonid, mida programm Trimble RealWorks võimaldab:

- Skaneerimise registreerimine täisautomaatses režiimis (nii tähistele kui ka iseloomulike punktide abil), sidumiskvaliteedi hindamine tähistele ja aruannete loomine skaneeringute ühendamiste kohta.
- Intelligentsete mõõtmiste sooritamise, poolautomaatne puhastamine, jaotamine ja punktipilve lõikamine.
- "Nutikas" klõpsatus, mis võimaldab klikkida kõrgeima ja madalaima kõrgusega punktide juurde, äärekivi ülemise ja alumise osa juurde.
- Punktipilvest pinna moodustamine triangulatsiooni kujul ja mahtude arvutamine.
- Ülevaatus – uuringuobjektide vaheliste kõrvalkallete kvantitatiivne analüüs, kaardistamine ja visualiseerimine. Seda funktsiooni kasutatakse skaneeritud andmete võrdlemiseks projektiga või objektide geomeetria muutuste tuvastamiseks ajas. [Karavanov, 2020]

Lisaks on olemas standardkomplekt, mille hulgas moodul Modeling, mis võimaldab laserskaneerimispunktide põhjal ehitada erinevaid kolmemõõtmelisi geomeetrilisi kujundeid: silindreid, koonuseid, tasapindu. Peamine ulatus mooduli kasutamiseks on tehnoloogiliste ja loogiliste komplekside modelleerimine projektdokumentatsiooni loomiseks, olemasolevate seadmete juhtimiseks ja kaasajastamiseks. [Karavanov, 2020]

Joonisel 69 on toodud RealWorks liides.



Joonis 69. Trimble RealWorks liides [Karavanov, 2020]. Tarkvaral on suur tööaken, seadete valik on toodud paremal pool ja üleval on mugavalt tööriistariba.

Programmi saab ametlikult kodulehelt alla laadida, aga programmi prooviversiooni kasutamine nõuab litsentsi olemasolu. Seega antud töö raames programmi katsetada ei saa.

9 Undet (Undet)

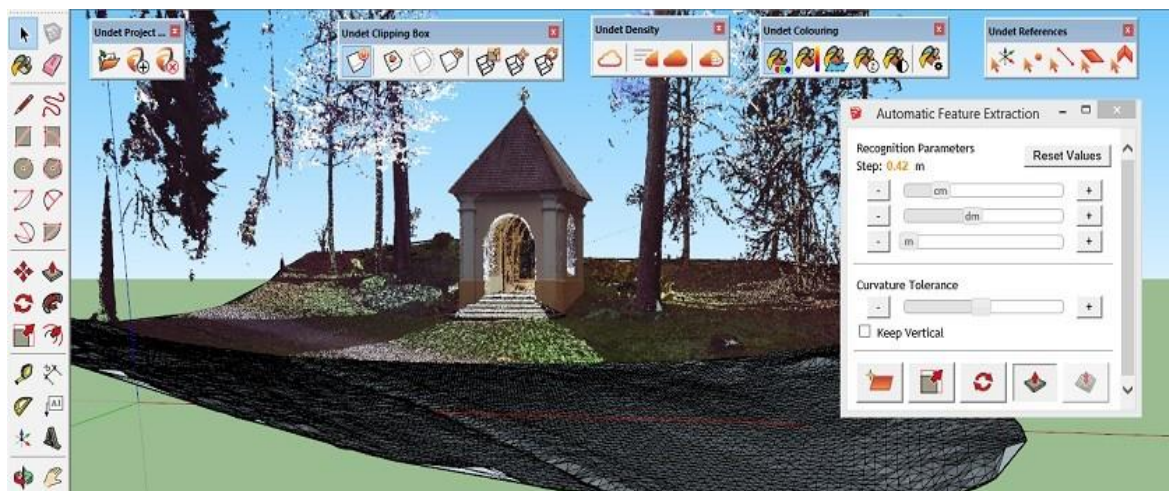
Undet on võimas plugin programm, mis võimaldab modelleerijatel muuta 3D-laserskanneerimise punktipilved täpselt kahe mõõtmelise ja kolme mõõtmelise tulemusteks. See integreerub sujuvalt AutoCADiga, kasutades tuntud süsteemiliidest ja täiendab seda punktipilvetööriistadega. Täiustatud funktsioonid aitavad konkreetsetes rakendustes, nagu tsiviilehitus, hoonete mõõtmised ja infrastruktuur. [Medvedev ja Raikova, 2017]

Peamine eelis on see, et isegi soovitud tasapinnal tuvastatud suvalist riskülikut on lihtne muuta SketchUpi enda abil vajaliku tasase või mahulise kujuni. [Medvedev ja Raikova, 2017]

Pinna loomine on võimalik kahel meetodil, esiteks korrapäraste ja suunatud võrkudega, teisel juhul suunatakse pinna servad mööda määratud suunda. Saadaval on pinna täpsustamise käsud, näiteks tühimike täitmine, pikkade servade ja teravate tippude eemaldamine. Pärast neliknurksete pindade täpsustamist saab pinnale lisada tekstuuri piltidega genereeritud poolautomaatrežiimis punktipilvest. Deformatsioonianalüüs on saadaval mõlemas programmis ja see seisneb piltide loomises, mis näitavad punktipilve pinna kõrvalekaldumist tasapinnast valitud või arvutatud projektsioonis. Sellel viisil

saadud deformatsioonikaardid võivad olla mugavad püstitatud seina või valmistatud detaili pinna kvaliteedi hindamiseks. [Medvedev ja Raikova, 2017]

Joonisel 70 on toodud Undet tarkvara liides SketchUp programmile.



Joonis 70. Undet liides SketchUp programmi jaoks [Marius, 2017]. Liidesel on suur tööaken ja erinevad tööriistad ei võta palju ruumi, iga kasutaja saab need enda jaoks mugavalt asetada.

Selles programmis ei saanud punktipilvega töötlemist, kuna SketchUpi prooviversiooni jaoks oli installitud Undet tarkvara prooviversioon, mis ei võimalda projekti avada punktipilvega.

Undet plugint Reviti ja AutoCADi jaoks prooviversioonid on tasuta, aga automaatset töötlust võimalust ei ole.