



1918

TALLINNA TEHNIKAÜLIKOOL

TEEDEINSTITUUT

Geodeesia õppetool

Mittestandardse kujuga ehitiste laserskaneerimine ja punktipilve  
põhjal modelleerimine TTÜ veetorni näitel

Laser scanning and point-cloud based modeling of non-standard  
structures with an application to a historic water tower

**ETG 60 LT**

Üliõpilane: Silver Aule

Juhendajad: MSc. Kalev Julge  
Prof. Artu Ellmann

Tallinn, 2014

## 9. Kokkuvõte

Käesolevas uurimistöös käsitleti mittestandardse kujuga ehitiste laserskaneerimist ning punktipilve põhjal modelleerimist TTÜ veetorni näitel. Mudelite loomiseks kasutati geomeetriliste kujunditega modelleerimist ning modelleerimist polügoonvõrkude abil. Kahe meetodi omavahelisest võrdlusest anti hinnang mudelite täpsusele ning toetudes modelleerimise ning võrdluse analüüsile, toodi välja kahe meetodi eelised ja puudused. Töös kasutati punktipilve töötlemiseks Leica Cyclone, mõõdistuskäigu tasandamiseks Trimble Business Center ning modelleerimiseks Autodesk REVIT ja 3DReshaper tarkvarasid. Mudelite omavahelise võrdluse jaoks kasutati samuti 3DReshaper tarkvara.

Torni modelleerimisel geomeetrilise meetodiga kasutati referentsiks veetorni punktipilve, mis varasemalt registreeriti, puhastati ning hõrendati. Geomeetrilise meetodiga modelleerimisel loodi veetorni põhilised osad nagu seinad, põrandad, laed, kandekonstruktsioonid, trepid, katus, ukсед ning aknad.

Polügoonvõrkude meetodil modelleerimisel valiti välja objektid, mille baasil oleks hilisemas faasis hea võrdlusi luua, selleks sobisid esiukse ees olev trepp, esimese korruse põrand, välissein ja selle detailid ning katus.

Modelleerimise täpsushinnangu andmiseks tuleb loodud mudelit võrrelda mõõdistatud punktipilve või sellest loodud mudeliga. Hälve leitakse iga mõõdistuspunkti kohta ning antakse lühima kaugusena vaadeldava punkti ning võrreldava pinna vahel. Hälvete keskmistamisel oleme suutelised andma mudelile täpsushinnangu, teades ühtlasi tööpraktikas levinud lubatud erinevuse väärtust 2 cm.

Võrdluse tulemusena määratud KRV väärtused neljal erineval objektil olid järgnevad: esiukse ees olev trepp – 0,032 m, esimese korruse põrand – 0,022 m, välisseina detailid – 0,115 m ning katus 0,050 m. Suurim täpsus kahe mudeli vahel oli esiukse ees oleval trepil ning esimese korruse põrandal, jäädes mõlemal juhul normide piiresse. Välisseina detailide korral ületasid keskmistatud erinevused normi. Selle peamiseks põhjuseks oli modelleerimise lihtsustuste tegemine geomeetriliste kujunditega modelleerimisel. Tasasel seinapinnal langesid mudelite pinnad hästi kokku, olles erinevad  $\pm 0,02$  m.

Katuse erinevus kahe mudeli vahel on 0,050 m, kuid tegelikkuses kõikus erinevus 0,10 m piires, kuna pinna moodustasid ALS kõrglennu andmetest lisatud punktid, mis TLS andmetega võrreldavat tihedust ja täpsust pakkuda ei suuda ning soovitud detailsusega modelleerimise jaoks ei sobi. Punkt pilve ebapiisava tiheduse tõttu tuli modelleerimisest välja jätta katusel asunud vintskapp.

Võrdluse alusel leiti, et geomeetriliste kujundite abil modelleerimine sobib tasaste ning suurte pindade modelleerimiseks. Antud uurimuses mõõdistatud veetorni modelleerimiseks sobis geomeetriliste kujundite abil modelleerimine hästi. Antud meetodil mudeldatud pindade täpsushinnanguks sooritati võrdlus mõõdistatud punkt pilvega (nii hõrendamata kui hõrendatud punkt pilvega). Võrdluse analüüsil selgus, et minimaalsed ning maksimaalsed vead objektide võrdluses olid kohati ekstreemsed. Põhjuseks pinnale mittekuuluvate punktide kaasamine võrdlusesse, mida on mõõdistusandmetest raske tuvastada ning eemaldada.

Keskmete vigade analüüsimisel selgus, et erinevused kahe punkt pilve kasutamisel olid väga väikesed. Hõrendamata punkt pilve korral olid leitud KRV väärtused pisut väiksemad, mille põhjuseks on siledatel pindadel (mille vead on väga väikesed) esinevate punktide suur hulk, mis langetab oluliselt KRV väärtust. Reaalsema situatsiooniga hindamiseks analüüsiti hõrendamata punkt pilvega sooritatud võrdluse tulemusi.

Trepi ning esimese korruse võrdluse tulemused olid head, jäädes KRV korral 0,02 m piiresse. Välisseina ning katuse võrdluses olid KRV väärtused suuremad, olles maksimaalselt 3D suuruste korral vastavalt 0,114 m ning 0,093 m.

Polügoonvõrkude abil modelleerimine on mõistlik, kui tegeletakse detailsete objektide kujutamiseks. Mahukate punkt pilvedega objektide (nt. antud uurimuses mõõdistatud veetorn) modelleerimine pole punkt pilve puhastamisele kuluva aja tõttu praktiline. Samuti on ilma tühimiketa punkt pilve mõõdistamine keerukas ja ajakulukas.

Objektide modelleerimisel tuleks arvestada veel, et täpsete mudelite koostamiseks on vajalik tihe ning suure ülekattuvusega punkt pilv, olenevalt soovitud detailsusega mudelist. Lisaks tuleks punkt pilve puhastamine tuleks sooritada võimalikud varajases faasis, et hoiduda lisatööst hilisemates andmetöötamise faasides.

Uurimuses kasutatud meetodid on laialt levinud, seega on kasutusel nii kommerts-, kui tasuta tarkvarasid, mis sarnaseid funktsionaalsusi pakuvad. Antud uurimuses kasutatud tarkvarad aga toimisid väga hästi ning autor julgeb soovitada käsitletud meetoditel modelleerimiseks.

## Summary

### LASER SCANNING AND POINT-CLOUD BASED MODELING OF NON-STANDARD STRUCTURES WITH AND APPLICATION TO A HISTORIC WATER TOWER Silver Aule

In this thesis Laser scanning and point-cloud based modeling of non-standard structures with an application to a historic water tower were investigated. For creating models, geometric shapes and polygon meshing methods were used. Evaluation of the modeling accuracy was given by comparing models created with two different methods. In consideration of analysis of the modeling and modeling accuracy, advantages and disadvantages of two methods were brought out. Programs used in this thesis were: for point cloud processing - Leica Cyclone, for geodetic survey leveling - Trimble Business Center, for modeling - Autodesk REVIT and 3DReshaper. For comparison of models, 3DReshaper was used.

For geometrical shapes method measured point cloud data of water tower was used. Point cloud was previously registered, cleaned and rarefacted. Geometric shape method was used to model main parts of water tower, like walls, floors, ceilings, load-bearing constructions, stairs, roof, doors and windows.

Objects to model with polygon meshing were chosen, that could be used in comparison stage of thesis. Objects that were chosen were stairs in front of main entrance, ground floor surface, exterior wall and roof of water tower.

To evaluate accuracy of modeling, modeled objects should be compared to point cloud data or surface made from point cloud. Deviations will be calculated for measurement points and are given by shortest distances between measured point and model surface. By averaging deviations and knowing that allowed difference of point cloud points and model in work practice is 2 cm, estimation of modeling accuracy can be given.

Modeling precisions for compared objects in mean squared errors were as followed: stairs in front of main entrance – 0,032 m, ground floor surface – 0,022 m, exterior wall – 0,115 m and roof – 0,050 m. Highest accuracy between two modeling methods was achieved with stairs in front of main entrance and with ground floor surface, where deviations were in limits

for both cases. Deviations for exterior wall were over the limits, mainly due to the simplifications done in detail modeling with geometric shape method. On the other hand, comparison of models on flat surfaces of exterior wall matched well together, being different  $\pm 0,02$  m. Roof difference between two methods was 0,050 m, but in reality differences ranged within 0,100 meters, because surface of the roof was constructed from high flight ALS (Airborne Laser Scanning) data, that has significantly lower density and accuracy of point cloud than TLS (Terrestrial Laser Scanning) data. Due to insufficient density of point cloud, dormer was excluded from the roof modeling. Therefore, using high flight ALS data for detailed modeling is not suitable.

From modeling methods comparison, it was found out that using geometric shape method is suitable for flat and large-scale surfaces (for example the water tower). To estimate precisions of modeling with geometric shapes, comparison with scanned point cloud (with original point cloud and also with rarefacted point cloud) was performed. Minimum and maximum errors were found to be extreme, when analyzing the comparisons, because points that did not belong to compared surfaces were applied (detecting and removing these points is difficult).

By analysing average deviations of comparisons with two point clouds, differences were found to be minimal. Though, mean squared errors for original point cloud (which was not rarefacted) were found to be smaller than with rarefacted cloud. That is because original point cloud contained more points on flat surfaces (those points have very small deviations) which will decrease values of mean squared errors a lot. To give model a more realistic comparison, original point cloud was used for analysis.

Comparison of stairs in front of the main entrance and ground floor surface were found to be accurate, being around 0,02 m in mean squared errors. Exterior wall and roof comparison revealed greater mean squared errors values, being 0,114 m and 0,093 m in 3D distance values.

Modeling using polygon meshing method would be suitable for depiction of detailed objects. Working with capacious point clouds (for example water tower in this thesis), modeling with triangulation method would not be practical, due to the time needed to prune the point cloud. Also, measuring point cloud without gaps is complicated and time consuming.

For drafting detailed models, dense and overlapping point clouds should be used. In addition, point cloud cleaning process should be done in early phases of work in order to avoid extra work in the later stages of data processing.

Methodologies used in this thesis are widely used. Therefore, commercial and free computer programs for data procession with similar functionality as used in this thesis are available. However, programs, that were applied in this study worked well and author dares to suggest for modeling processes for similar objects.