



TALLINNA TEHNIKAÜLIKOOL
EHITUSTEADUSKOND

Teedeinstituut
Geodeesia õppetool

Liis Elmi

FASSAADIDE VÕRDLEV MÕÕDISTUS TAHHÜMEETRIA,
MAAPEALSE FOTOGRAMM-MEETRIA JA
LASERSKANEERIMISEGA

A comparative study of facade survey methods - tacheometry,
terrestrial photogrammetry and laser scanning

Magistritöö

Juhendajad:

MSc. Silja Talvik

Prof. Artu Ellmann

Tallinn 2014

KOKKUVÕTE

Hoonete erineva suuruse, detailsuse ja mõõdistustäpsuse nõuete juures on väljakutse leida sobivat mõõdistamismeetodit fassaadide mõõdistuseks. Suurt tähtsust omab sobivate mõõdistusevahendite ning tarkvara valik mõõdistamiseks, andmetöötlemiseks ja modelleerimiseks. Antud uurimustöös on võrreldud kolme erinevat fassaadide mõõdistusmeetodit: prismavaba tahhümeetria (DR-meetod), terrestriline fotogramm-meetria ja maapealne laserskaneerimine.

Uurimustöös on kirjeldatud kõiki kasutatud mõõdistusmeetodeid ja tarkvara, tuues välja ka kasutatud arvutiprogrammide funktsioonid andmete töötlemiseks ja puhastamiseks ning fassaadi modelleerimiseks. Lõputöö raames otsiti ka fassaadide mõõdistuse täpsusnõudeid ent nenditi, et puuduvad üldtuntud standardsed nõuded.

Katsetöös mõõdistati Tallinna Tehnikaülikooli VI korpuse fassaadi. Katsetöös võrreldavad fassaadiosad valiti omavahel risti paiknevatelt erineva kattematerjaliga fassaadidelt, kus mõlemal seinal võeti vaatluse alla akendega ja aknaavausteta fassaadiosa.

Fassaadi mõõdistused tehti asukohapõhiste andmete kogumiseks ja fassaadi elementide gabariitide mõõdistamiseks. Prismavaba tahhümeetria (DR-meetodil) sooritati elektrontahhümeetriaga Trimble S6 kombineerides manuaalset DR-mõõdistust tahhümeetri pool-automaatse skaneerimisfunktsiooniga. Terrestrilise fotogramm-meetria jaoks kasutati kaamerat Trimble Vision, mis on integreeritud elektrontahhümeetrise Trimble S6. Terrestriline laserskaneerimine sooritati laserskanneriga Leica ScanStation C10. Antud töö kavandamisel lähtuti tuntud koordinaatpunktidest, mida kasutas ka ettevõtte OÜ Via Geo ehitusgeodeetilisteks mõõdistusteks TTÜ VI korpuse rajamisel.

Mõõtmisandmete eeltöötlus tehti arvutiprogrammides Trimble Business Center ja Leica Cyclone. Andmetöötlemise läbinud erinevate mõõdistusmeetodite ruumiandmetest modelleeriti 3DReshaper'is fassaadi seinaosade triangulatsioonil põhinevad 3D kolmnurkpinna-mudelid ehk TIN-mudelid ning akende avausi piiritlevad polüjooned.

Erinevatel mõõdistusmeetoditel loodud pinna mudelite omavahelisi hälbeid võrreldi iga fassaadiosa puhul eraldi:

- Terrestrilise fotogramm-meetria teel ja DR-režiimis prismavaba tahhümeetrilise mõõdistuse teel loodud pinna mudelite omavahelised hälbed olid 1 cm või vähem (seda iga fassaadiosa võrdluseks).

- Nii fotogramm-meetria teel loodud pinna kui ka prismavaba tahhümeetria teel loodud pinna mudel paiknes keskmiselt 1-2 cm eespool terrestriilise laserskaneerimise teel loodud pinna mudelit. Märkati, et samade pindade asukoha erinevus terrestriilise laserskaneerimise teel loodud pinna mudelist suurenes (hälve oli 2-3 cm), kui võrdluse all oli akendega sile krohvitud seinosa.

Aknaavade mõju hindamiseks seinte modelleerimisele võrreldi omavahel akendega ja akendeta fassaadiosaid. Leiti, et akende olemasolu mõjutab erinevat tüüpi pinnamudeleid erinevalt:

- Siledate krohvitud seinte puhul aknad suurendavad hälbeid pinnamudelite vahel, mis on loodud terrestriilise fotogramm-meetria ja laserskaneerimise teel. Analoogselt, akende olemasolu suurendab hälbeid pinnamudelite vahel, mis on loodud tahhümeetriilisel prismavaba mõõdistusel ning terrestriilise laserskaneerimise meetodil.
- Tellistest seinte puhul akende olemasolu vastupidiselt vähendab hälbeid pindade vahel, mis on loodud maapealse fotogramm-meetriilise mõõdistuse ja laserskaneerimise teel. Analoogselt vähendab akende olemasolu hälbeid ka pinnamudelite vahel, mis on loodud tahhümeetriilise DR-mõõdistuse ja terrestriilise laserskaneerimisega.

Uurimustööga märkati veel, et aknaava servade modelleerimine teravateks (laserskaneeritud punktipilvest modelleeritud pinnal) ei mõjutanud märkimisväärselt pinna tasandi suhtelist asukohta võrdlusele teiste mõõdistusmeetodite teel saadud pinna mudelitega.

Kõikide mõõdistuse võrdluste visuaalsel vaatlusel ei märgatud hälvete kasvu pinnamudeli ülemiste osade suunas, kuigi seina ülemiste osade mõõtekaugus oli pikem.

Aknaavade nurgad mõõdistati manuaalselt tahhümeetriilise DR-mõõdistuse ja terrestriilise fotogramm-meetria teel ning võrreldi aknaavauste nurkadega maapealse laserskaneerimise teel loodud pinnamudelil. Katses järelitati, et laserskaneeritud punktidest loodud pinna aknaavade nurki saab võrdväärselt hästi täpsustada aknanurkadega, mis on mõõdistatud fotogramm-meetriilise või tahhümeetriiga manuaalselt DR-režiimis.

Võimalik oli järelitada, et prismavaba DR-mõõdistus on üheks täpsemaks mõõdistuseks katses kasutatud mõõtmismeetodite seas ning tehes järeldusi katse tulemustest, on

soovitav DR-mõõdistusel saadud aknaavade asukohti kontrollida või täiustada pigem tulemustega, mis saavutati terrestrialse fotogramm-meetria meetodil kui laserskaneerimise teel.

Üldiselt peaks eeldama, et tahhümeetriline mõõdistus prismaga on kõige täpsem meetod aknaavade modelleerimiseks 3D mudelil. Katsega leiti, et tahhümeetrilisel teel prismaga ja prismata mõõdistades tulid aknanurkade keskmised hälbed väikesed - kuni 7 mm. Katsega järeldati, et prismavaba DR-mõõdistus on samuti üheks täpsemaks mõõdistusmeetodiks. Tulemuste põhjal oleks soovituslik DR-mõõdistusel saadud aknaavade asukohti kontrollida või täiustada pigem tulemustega, mis saavutati terrestrialse fotogramm-meetria meetodil kui laserskaneerimise teel.

Aknaavause gabariite mõõdistati erinevatel meetoditel ning võrreldi projektsete aknagabariitidega. Katsega arvatud hälvete kasvust lähtuvalt oleks soovituslik valida mõõdistusmeetodeid gabariitide mõõdistusel vastavas järjestuses: prismaga kontaktmõõdistus, maapealne laserskaneerimine, tahhümeetriline manuaalne DR-mõõdistus ja terrestriiline fotogramm-meetria.

Katsetöö loeti edukaks parema ülevaate andmisel sobiliku mõõdistusmeetodi valikuks fassaadi mõõdistusel.

Antud uurimustööd saaks edasi arendada mitmes suunas. Alljärgnevalt on mainitud mõned nendest:

- Antud uurimustöö fotogramm-meetriline mõõdistus tehti Trimble Business Center versioonis 3.10, kus piksli valikul kahelt või enamalt fotolt luuakse uus koordineeritud punkt. Uues versioonis TBC 3.20 on funktsioon Virtual DR, mis võimaldab valida ühe piksli ühelt fotolt ning automaatselt arvutada algoritmide põhjal sarnased pikslid teistel fotodel, et luua koordineeritud fotogramm-meetriline punkt. Tasuks uurida, kui palju mõjutab uus ühe piksli valikuga meetod fotogramm-meetrilise mõõdistuse sisetöö ajalist mahtu ja saavutatavat täpsust mõõdistuspunktidel.
- Kuna tänapäeval luuakse tihti fotorealistikke 3D mudeleid fotodest, siis oleks kasulik võrrelda fotorealistikku 3D mudeli hälbeid antud uurimustöö tulemustega.
- Lisaks võiks antud uurimustöö katses kasutatud mõõtmismeetodeid ja tarkvara kasutada keerukamate hoonete mudeldamisel. Näiteks Tallinna vanalinna hooned,

kus leidub palju ümaraid ja detailsed fassaadipindu. Tulemuste analüüsiga võiks jõuda arusaamale, kas käesoleva uurimustöö järeldusi saaks laiendada ka keerukamate fassaadide pinnamudelitele.

SUMMARY

It is challenging to choose the most suitable method for measurement of a building facade. This is due to the differences in building size, facade details and required measurement accuracy. The selection of adequate measuring tools and computer programs (for both data processing and modelling) is of critical importance. In this study, a comparison is made between three different facade survey methods: tacheometry without prism (Direct Reflex-method), terrestrial photogrammetry and terrestrial laser scanning.

Details on all used measuring tools and computer programs are described within this study, including the description of used computer programs' features for data processing, data cleaning and facade modelling. Additionally, it was researched to be found some standards or requirements for an accuracy of measuring façade, and it was concluded that measuring requirements for facades are not well-known way standardized.

The subject of this study is the facade of the 6th building at Tallinn University of Technology (TUT). Two orthogonal facades constructed using different building materials (plaster and bricks), each having a section with and without windows, were selected for a comparative study.

Measurements were proceeded in order to acquire location-based data and measure the gauges of facade elements. DR-survey was performed by a Trimble S6 total station and was conducted both manually and through an half-automatic scanning function. Terrestrial photogrammetry was performed by a Trimble Vision camera which is integrated within the Trimble S6 total station. Terrestrial laser scanning was performed by a Leica ScanStation C10 laser scanner. All measurements were based on known coordinates which were also used during constructions of the 6th building at TUT.

Pre-processing of the measurement data was carried out in Trimble Business Center and Leica Cyclone computer programs. All the pre-processed data of facade wall parts were modelled into three-dimensional meshes based on triangulation by using the 3DReshaper modelling program. The facade windows within the model were bordered with polylines.

The deviations between the generated model surfaces of each measurement method were compared for each building facade section:

- Model surfaces created from terrestrial photogrammetry and and DR-tacheometry were found to show deviations of 1 cm or less for all studied facade sections.
- Model surfaces created from terrestrial photogrammetry and DR-tacheometry were found to be located 1-2 cm in front of the model surface created from terrestrial laser scanning. Notably this locational discrepancy of the model surfaces is larger (2-3 cm) for smooth plastered walls with windows.

In order to evaluate the effect of openings present in a building facade on modelling surfaces, this study compares the measurements of facade sections with and without windows. While comparing facades sections with or without windows, it was found that there is an influence of the facade surface type:

- For smooth plastered walls, the presence of windows increases the deviations between surface model points obtained by terrestrial photogrammetry and from terrestrial laser scanning. Similarly, the presence of windows also increases the deviations between surface model points obtained by DR-tacheometry and terrestrial laser scanning.
- For brick walls, on the contrary, the presence of windows decreases the deviations between surface model points obtained by terrestrial photogrammetry and from terrestrial laser scanning. Analogously, the presence of windows also decreases the deviations between surface model points obtained by DR-tacheometry and terrestrial laser scanning.

It was also noticed within this study that sharpening of window edges within the created model from the scanned point cloud did not remarkably affect the relative position of the surface models obtained by the different measurement methods. It was compared within the study as the process of sharpening the edges is smoothing the wall surface around a window opening.

For all subject measurement methods, no increase in deviations was observed between the lower and upper parts of the facade, even though the distance of measurement to the upper part of the facade was longer.

Window corner positions measured manually by DR-tacheometry and chosen manually from coordinated images (terrestrial photogrammetry) were compared with window corner positions extracted from the model surface created from terrestrial laser scanning. It was

concluded within this study that specifying the position of window openings on the model surface from terrestrial laser scanning could be equally achieved from the results of DR-tacheometry and terrestrial photogrammetry.

Above all, the method of prism- based tacheometry with prism could be assumed being the most accurate measurement method. It was noticed within the study that the average deviation of window corners created from tacheometry without and with prism were found to be only 7 mm. Therefore an assumption could be made that DR-tacheometry is also with acceptable accuracy for modelling windows on a building facade. According to the comparison of different measurements a suggestion could be proposed for checking and complementing results obtained by DR-tacheometry with results of corner points measured by terrestrial photogrammetry rather than with corner points obtained from the laser scanned surface model.

The deviations between the window gauges of each measurement method were compared with gauges according to the designed measurements. According to the tests within this study the deviations of window gauges were increasing within next sequence: tacheometry with prism, terrestrial laser scanning, manual tacheometry without prism and terrestrial photogrammetry.

The test study was considered a success to give a better overview of selecting the most suitable method for a measurement of a building facade.

The study could be developed further in many diverse directions:

- The current study was conducted with a TBC version 3.10 where photogrammetry is based on selecting two pixels from at least two photos in order to generate a new coordinated point. New edition of a TBC (3.20) has the feature called Virtual DR which allows choosing one pixel from one photo and letting algorithms automatically calculate similar pixels from other photos in order to create a new coordinated point. It would be worth to investigate the impact of selecting only one pixel on the amount of time spent on facade photogrammetric measurements and achievable accuracy of the created surface model.
- As there are a lot of photorealistic 3D models created from images, it could be useful to compare deviations of the photorealistic 3D building model to the results within this study.

- Additionally, used measuring methods and computer programs within this study could also be compared with modelling results of more complex buildings (like buildings of Tallinn Old Town) which facades have convex surfaces with plenty of details. Analyses could be carried out in order to see if the outcomes of the current study could be expanded to more complex surface models.