



TALLINNA TEHNIKAÜLIKOOL  
INSENERITEADUSKOND

---

Ehituse ja arhitektuuri instituut

LAOHOONE KARKASSI TEOSTUSMÕÕDISTAMISE  
MEETODITE VÕRDLUS

COMPARISON OF AS-BUILT SURVEYING METHODS OF WAREHOUSE FRAME

MAGISTRITÖÖ

Üliõpilane: Priidu-Evert Pärna

Üliõpilaskood: 110586EATI

Juhendaja: MSc Vello Kala

Tallinn, 2017.a.

## TÖÖ TULEMUSTE KOKKUVÕTE

Käesolevas töös anti ülevaade ja hinnati erinevate meetodite täpsust ning ajakulu ehitise kandepostide vertikaalsuse määramisel. Käsitletud meetoditeks olid: vertikaalprojekteerimine, digitaalvaaderpassi kasutamine, DR-elektrontahhümeetri laserkaugusmõõduri kasutamine, koordinaatide meetod kasutades alamprogrammi *Offset* ja terrestriline laserskaneerimine. Lisaks määrati kombineeritud meetodi ehk vertikaalprojekteerimise ja DR-elektrontahhümeetri laserkaugusmõõduri kooskasutamise nõol võimalik ajavõit. Vaatluse all olid 15 kuue meetri pikkust ühtlase ristlõikega faasitud servadega raudbetoonposti ristlõike mõõtudega 300x300 mm ruudustikus 7,2...10,8 m AS Espak ehitismaterjalide kaupluse juurdeehituse II korrusel Tallinnas Veerenni tänaval. Mõõtmiste läbiviimisel kasutati digitaalvaaderpassi BOSCH DNM 120L, elektrontahhümeeterit Trimble S6 ja laserskannerit Leica ScanStation P40.

Iga meetodiga sooritati 3 kordusmõõtmist, va skaneerimine, mille täpsuse hindamiseks kasutati ühte ja sama punktipilve. Andmetöötluse järel selgus, et sisemise ühtivuse järgi on täpsem meetod vertikaalprojekteerimine (KRH=0,92 mm), siis koordinaatide meetod (KRH=1,36 mm), DR-elektrontahhümeetri laserkaugusmõõduri kasutamine (KRH=1,71 mm), skaneerimine (KRH=1,78 mm) ja 6 m kõrgusele ekstrapoleeritud digitaalvaaderpassi kasutamine (KRH=5,48 mm). Kõik meetodid, va digitaalvaaderpassiga mõõtmine, vastasid normatiivides EVS-EN 13670:2010, GOST 26433-85 ja ISO 4463-1 sätestatule ja sobisid 6 m kõrguste postide vertikaalsus määramiseks. Lubatud hälve vertikaalist oli 15 mm, teostusmõõdistamise hälve 6 mm ja nõutud geodeetiline täpsus 2,4 mm.

Nelja mõõtmismeetodiga leitud tulemuste alusel sooritati ka teist laadi täpsushinnang, mille alusel kattusid vertikaalprojekteerimise mõõtmistulemused kõige paremini skaneerimisega (KRH=2,01 mm), siis koordinaatmeetodiga (KRH=2,07 mm) ja viimasena laserkaugusmõõduri mõõdetuga (KRH=2,51 mm).

Töö kiirust ja tööjõu kulu võrreldi välitööde aspektist, sest kameraaltööde kiirus on rohkem sõltuvuses töötäitja poolt kasutatavatest riist- ja tarkvara modifikatsioonidest. Väliandmete kogumine toimus kõige kiiremini digitaalvaaderpassi kasutades (11 min), millele järgnes kombineeritud meetod (24 min), DR-elektrontahhümeetri laserkaugusmõõduri kasutamine

(30 min), koordinaatide meetod alamprogrammiga *Offset* (40 min) ja vertikaalprojekteerimine (48 min). Viimane neist oli ootuspäraselt kombineeritud meetodist kaks korda aeglasem. Teistest enam aega nõudis skaneerimine (60 min), kuid kogutud andmete hulk võimaldas lahendada ilma lisamõõtmisteta ka lisäülesande.

**Võib üldistada, et kirjeldatud meetodid (va digitaalvaaderpassi kasutamine) sobivad ka postide maksimaalpikkusele (~14 m), seda enam, et kõrgemate postide puhul on lubatud vertikaalhälbed (ja seega ka mõõdistamise vead) suuremad. Ajakulu loomulikult peaaegu ei olene posti kõrgusest.**

Lisäülesandena hinnati täpsust ja ajakulu samal objektil laefermide alumise vöö kõrguste mõõtmisel kahe meetodiga: kasutades laserskannerit Leica ScanStation P40 ja kasutades digitaalnivelliiri Leica Sprinter 150M. Sisemise ühtivuse järgi saadi skaneerimise KRH väärtuseks 1,71 mm, mis on palju suurem digitaalnivelliiri ühe kõrguskasvu standardhälbest ( $\sigma=0,9$  mm). Skaneerimistulemuste otsene võrdlus digitaalnivelliiriga andis KRH väärtuseks 1,90 mm, mis vastas nõutud geodeetilisele täpsusele (2,2 mm vastavalt ЦП 70.13330.2012, GOST 26433-85 ja ISO 4463-1). Ajaliselt oli palju kiirem meetod nivelleerimine, nii väli- kui ka kameraaltööde seisukohast. See on võimalik ainult fermide kõrgusel kuni 6 m, vastasel korral tuleb igal juhul kasutada laserskannerit. Skanneriga võiks põhimõtteliselt (arvestades kaugusmõõturi täpsust) saada ka mõeldaval maksimaalsel kõrgusel 100 m teoreetiliseks KRH väärtuseks 1,60 mm.

Püstitatud ülesannete täitmiseks valitud meetodid olid täpsuse poolest sobivad (va digitaalvaaderpassi kasutamine, mis ei tohiks olla üle 2,5 korra lühem mõõdetavast postist), kuid erinesid töö kiiruse ja tööjõu kulu poolest. Vertikaalsuse määramiseks võiks kõige perspektiivikam olla koordinaatide meetod alamprogrammiga *Offset* arvestades välitöö lihtsakoelisust, ajakulu ja arvutiseeritust kameraaltöödel. Arvatavasti omab siiski suurt populaarsust DR-elektrontahhümeetri laserkaugusmõõturi kasutamine horisontaalkauguste määramiseks, mis ei nõua niivõrd suurt viseerimistäpsust ja on kiirem, kuid samas ka veidi ebatäpsem. Skaneerimine jääb antud juhul lihtsalt üheks alternatiivmeetodiks.

Täpsuselt ja ajakulult on ainuüksi kõrgusi määrates nivelleerimisel skaneerimise ees eelis, kuni on tagatud ligipääs punktideni.

## SUMMARY

### COMPARISON OF AS-BUILT SURVEYING METHODS OF WAREHOUSE FRAME

Priidu-Evert Pärna

In this thesis measurement of verticality of columns was investigated. There were 5 different methods: plumb-line measurements, measurements with digital spirit level, measurements with Direct Reflex (DR) total station's laser rangefinder, coordinate method by using Angle Offset and terrestrial laser scanning (TLS). An overview and evaluation of accuracy and time consumption was given for each method. Also, time expenditure for the combined method, which combines plumb-line measurements and measurements with total station's laser rangefinder, was measured. All measurements and calculations, which were made during the research, are based on 15 six meter tall 300x300 mm square columns with chamfered corners. The data was collected in Tallinn at AS Espak's warehouse of building materials. BOSCH DNM 120L digital spirit level, Trimble S6 Total Station and Leica ScanStation P40 were used.

The measurements were repeated 3 times with every method, except for scanning (only one pointcloud was measured and used). As a result, by inner compatibility the most precise method for measuring the verticality of columns was plumb-line measurements (MSE=0,92 mm). Next was coordinate method by using Angle Offset (MSE=1,36 mm), then the measurements with total station's laser rangefinder (MSE=1,71 mm), scanning (MSE=1,78 mm) and last the measurements with digital spirit level (extrapolated MSE=5,48 mm). All of the methods, except for using a digital spirit level, satisfied the requirements of the building regulations EVS-EN 13670:2010, GOST 26433-85, ISO 4463-1 and were suitable to measure the verticality of 6 m tall columns. Vertical tolerance was 15 mm, as-built measurement tolerance was 6 mm and geodetic accuracy was 2,5 mm.

Another type of evaluation of accuracy was carried out. This time, all of the suitable methods were compared with plumb-line measurement data, which was the most accurate method by inner compatibility. It turned out, that plumb-line measurement data matches best with scanning (MSE=2,01 mm), then with the coordinate method (MSE=2,07 mm) and lastly with the DR total station's laser rangefinder (MSE=2,51 mm).

Time consumption and labour costs were evaluated by means of fieldwork. Office work highly depends on accessibility of hardware and software modifications and it is nearly impossible to measure it in numbers. Collecting the data using digital spirit level was the fastest with 11 min, combined method of plumb-line measurements and using a total station's laser rangefinder took an average of 24 min, using only the laser rangefinder took 30 min, coordinate method by Angle Offset took 40 min and plumb-line measuring came last with 48 min. As expected, plumb-line measurements took twice as much time as the combined method. TLS took 60 min to completely measure the whole second floor, which was not necessary for measuring the verticality of the columns, but gave the opportunity to complete the second task.

**In conclusion, all of the covered methods, except for using the digital spirit level, are suitable for measuring the verticality of columns up to 14 m as for taller columns the vertical tolerance and therefore geodetic precision is greater. Time consumption does not of course highly depend on column height.**

The second task was to evaluate the accuracy and time consumption during height measurements of the bottom chord of steel truss using Leica Sprinter 150M digital level and Leica ScanStation P40. The data was collected at the same warehouse. By inner capability, mean square error for scanning turned out to be 1,71 mm, which was greater than standard deviation for the Leica Sprinter (MSE=0,9 mm, single staff reading). Therefore, by comparing these two to each other, MSE for scanning was 1,90 mm. The accuracy is good enough as the tolerance is set at 2,2 mm (CII 70.13330.2012, GOST 26433-85 and ISO 4463-1). Levelling was much faster than TLS for collecting and working with the data, but is only suitable when the steel trusses are reachable (up to 6 m), otherwise TLS is the way to go. In theory, laser scanner can be used to measure heights up to 100 m with MSE of 1,60 mm.

The accuracy of every method covered for both tasks in this research, was suitable (except for using the digital spirit level, which should not be more than 2,5 times shorter than the columns). Main differences are in time consumption and in labour costs. Coordinate method by Angle Offset seems to be the most efficient way for measuring the verticality of columns as it is fairly easy to perform, precise and the data is digitalized. It is more likely that using the laser rangefinder of a total station is more popular as it demands less

accuracy in aiming and is faster, but a bit less accurate. Terrestrial laser scanning should be an alternative method until the columns and height points in question can be reached.