



1918

**TALLINNA TEHNIKAÜLIKOOL**  
TEEDEINSTITUUT

---

Geodeesia õppetool

**ELEKTRONTAHHÜMEETRITE JA LASERSKANNERI  
KAUGUSMÕÕTURI TÄPSUSE HINDAMINE**

**ASSESSMENT OF THE ACCURACY OF TOTAL STATIONS AND  
LASER SCANNER DISTANCE METERS**

**ETG60LT**

Üliõpilane: Sander Saarik

Juhendaja: Vello Kala

Kaasjuhendaja: Silja Talvik

Tallinn 2014

## KOKKUVÕTE

Käesolevas töös uuriti elektrontahhümeetrite ja laserskanneri valguskaugusmõõduri täpsust Tallinna Tehnikaülikooli soetatud instrumentide näitel. Töös kasutatavateks instrumentideks olid Trimble S6 ja kolm Trimble M3 elektrontahhümeetrit ning laserskanner Leica ScanStation C10. Töö esmane eesmärk oli määrata instrumentide valguskaugusmõõdurite täpsused ja anda täpsushinnangud. Teiseks eesmärgiks oli määrata meteoroloogiliste andmete sisestamisel ja mittesisestamisel ning manuaalsel parandi arvutamisel tekkiv kauguste vahe. Kolmandaks eesmärgiks oli määrata kauguse vea sõltuvus laserkiire langemisnurgast peegeldava pinna suhtes. Töö tulemusel saab anda soovitusi mõõtmiste planeerimiseks.

Valguskaugusmõõdurite täpsust määrati Vääna baasjoonel, mida haldab Maa-amet. Reflektorid asetati sammastele, mille kaugus instrumendist oli 2,238, 4,756, 9,733, 33,684, 57,710, 105,720, 201,739, 393,744 ja 585,747 meetrit. Mõõtmistel kasutati reflektoritena tavaprismasid, plaatreflektoreid ja 360° prisma. Iga reflektorile viseeriti iga samba peal neli korda. Mõõtmised tehti elektrontahhümeetritega kahel juhul: sisestatud meteoroloogiliste paranditega ja ilma meteoroloogiliste paranditeta (hilisema manuaalse parandi arvutamisega).

Kauguse vea sõltuvust laserkiire langemisnurgast reflektorile leiti plaatreflektori pööramisele ümber vertikaaltelje 10kraadise intervalliga. Katsed tehti kolmel eri kaugusel: 10, 20 ja 30 meetrit. Iga intervalli puhul tehti 4 mõõtmist. Mõõtmised toimusid sisetingsimustes.

Instrumentide täpsusega võib rahule jääda, eriti laseriga mõõtmiste puhul. Täheldada võib, et sama seeria tavaprismad on siiski erinevad. Tulemused näitavad, et prismad võivad samadel kaugustel anda kuni 2 mm erinevaid tulemusi. Vea vältimiseks on soovitatav kontrollida, kas tehase poolt väljastatud prismakonstant vastab ikka konkreetsele prismale ning vajadusel määrata ja sisestada uus konstant. Antud töös olid kõikidele süsteemidele (instrument + reflektor) määratud instrumendi konstandid (viimase suurus oleenb instrumendi ja reflektori optiliste ja elektrooniliste keskmete nihkest (alajaotis 2.1.1)). Viga saab vajadusle parandada prisma konstandi muutmisega.

Meteoroloogiliste parandite kasutamine on vähegi täpsemate mõõtmiste puhul kindlasti vajalik. Mida pikemaks mõõdetav kaugus läheb, seda suuremaks muutub ka meteoroloogiliste parandite mittekasutamisest tingitud viga. Pikematel kaugustel kui 200 meetrit oli meteoroloogiliste parandite mittekasutamisest tekkiv viga testitud Trimbel M3 puhul kuni 3 mm ja testitud Trimble S6 puhul kuni 6 mm (seda 9°C temperatuuri ja 1015 mbar õhurõhu juures). Suhteliselt väikesed vead olid tingitud sellest, et mõõtmistingimused olid instrumendi meteoroloogilise nullparandi ligidased. Kui mõõtmiste ajal ununeb meteoroloogiliste andmete (temperatuur, õhurõhk) sisestamine, võib andmete olemasolul järeltöötluse tulemusena siiski saada korrektsed tulemused. Arvutatud ja instrumendi sisestatud meteoroloogiliste väärtustega saadud parandite suurused on praktiliselt samad. Tasub meeles pidada, et igal instrumendi tüübil võib olla oma meteoroloogilise parandi valem.

Kui tegemist on laserkiirega mõõtmisega kaldpinnale, siis laserkiire suhtes väga suurte kaldenurkade alla asuvatele pindadele ei ole soovitatav mõõta. Katsetamise tulemustena selgus, et tekkivad vead on instrumentidel erinevad. Tulemustest selgub, et katsetustel kasutatud instrumentide Trimble M3 puhul saab ka suurte kaldenurkade puhul väga edukalt mõõta. Isegi kuni 60kraadise kiire langemisnurga puhul olid kauguse mõõtmiste vead alla 3 mm (spetsifikatsioonis toodud keskmine ruutviga). Suurema kui 70° langemisnurga puhul muutuvad tulemused vahelduvaks ning vead võivad järsult suurenedada. Trimble M3(C602795) puhul olid suuremad hälbed kaugustel 20 meetrit ja rohkem. Trimble M3(C602674) puhul kaugustel 30 meetrit ja rohkem ning Trimble M3(C602779) puhul kaugustel 20 meetrit. Tasub tähele panna, et instrumendi Trimble S6 puhul ületas vigade suurus 3 mm piiri alates laserkiire langemisnurgast 30 kraadi ja ületas 10-12 mm piiri laserkiire langemisnurga 60° puhul, siinjuhul peab märkima, et Trimble S6 laseri võimsus oli tunduvalt väiksem kui Trimble M3 omal (alajaotised 4.5.1 ja 4.5.2). Laserkanneri puhul peaks võimalusel vältima suuremaid kaldenurki kui 60 kraadi. Tasub märkida, et instrumendid on erinevad ning igal juhul tasuks uue instrumendi soetamisel kontrollida, kui suure kaldenurgaga pindu on mõistlik mõõta.

Edasistele uuringutele tasuks kaasata erinevaid instrumente. Töös kasutatud instrumente tuleks perioodiliselt uuesti kalibreerida ning leida, kas ajaga on kauguse mõõtmise täpsus muutunud. Samuti võib uurida, kuidas meteoroloogilised parandid muutuvad, kui tehakse mõõtmisi erinevatel aastaegadel ja temperatuuridel. Uutele instrumentidele ja

reflektoritele oleks hea võrdluseks tuua ka mõni pikki aastaid pidevalt töös olnud instrument või reflektor. Kaldpinnale mõõtmiste puhul tasuks leida, kuidas sõltub kauguse mõõtmise täpsus pinna materjalist, karedusest ja värvusest.

## SUMMARY

In the given master thesis the investigation of the accuracy of electronic distance meters of total stations and a laser scanner with application to the instruments of Tallinn University of Technology is presented. Trimble S6 and three Trimble M3 total stations and a Leica ScanStation C10 were tested. The primary objective of this work was to estimate the accuracy of the instruments and to calculate accuracy ratings. Secondly, the difference of using meteorological corrections inserted into the instruments, measuring without corrections or calculating the corrections using known formula was investigated. Thirdly, the influence of the the incidence angle on reflectorless distance measurements was determined.

The accuracy of the electronic distance measurements was determined at the Vääna baseline, that is managed by the Estonian Land Board. Reflectors were placed on pillars with a distance of: 2.238, 4.756, 9.733, 33.684, 57.710, 105.720, 201.739, 393.744 and 585.747 meters. Ordinary prisms, reflector plates and a 360° prism were used as reflectors. Each reflector was measured 4 times on each pillar. Measurements were conducted with and without meteorological corrections (with manual correction calculation after fieldwork).

The influence of the incidence angle on reflectorless distance measurements was determined by rotating the reflector plate around its vertical axis by a 10° interval. Tests were conducted at three different distances: 10, 20 and 30 meters. For each interval, there were 4 measurements. The measurements were conducted in an indoor environment.

The accuracy of the instruments can be called satisfactory, especially in the case of reflectorless measurements. However, it can be said that prisms from the same series can yield to different measured distances. The results of the study show that the measured distances can vary up to 2 mm, depending on the prism used. To avoid errors, it is advisable to check the factory issued prism constant using a similar method to the one used in the tests described and, if necessary, define a new constant. In the given master thesis - a correction constant (the magnitude of the constant depends on the optical and the electronic centre of the instrument and the reflector) was calculated for all systems

(instrument + reflector). The measurement errors can be minimized by changing the reflector (constant).

Using meteorological corrections is certainly necessary in accurate distance measurements. The longer the measuring distance gets, the greater becomes the error of not using the meteorological corrections. For distances longer than 200 meters the error of not using meteorological corrections was 3 mm for the tested Trimble M3 and 6 mm for the tested Trimble S6 (with the temperature being about 9°C and the pressure being about 1017 mbar). Such relatively small errors were due to the measurements being taken close to the meteorological zero correction of the instrument. If meteorological information is available, but was not entered during the measurements, the results can easily be corrected during post-processing of the measured data. The meteorological corrections offered by the instrument and the ones calculated using known formula are very similar.

It is not recommended to measure onto surfaces that are under a very large incidence angle. Tests show that measuring errors to inclined surfaces differ according to specific instruments. The results show that using a Trimble M3, distances can be measured under great incidence angles of the surface. Even up to an angle of 60° the measurement errors were under 3 mm. For an angle greater than 70°, the results became intermitted. Larger deviations for Trimble M3(C602795) started from distances of 20 meters and more, for Trimble M3(C602674) from 30 meters and more and for Trimble M3(C602779) from 20 meters. It is worthy to note that the Trimble S6 measurements error exceeded the 3 mm limit already at the incidence angle of 30° and an error of 10-12 mm was found when the incidence angle exceeded 60°. It is also recommended to avoid larger incidence angles than 60° using the Leica ScanStation C10 laser scanner. It is recommended to verify individually for each instrument the limits of the maximum incidence angles at which it is reasonable to measure.

Further studies concerning the accuracy of distance meters could include other types of instruments. Also the instruments used in the current study should be tested again after a few years to see how the time passed influences the accuracy of the instruments. It can also be investigated how the meteorological corrections change when measurements are taken during different seasons and temperatures. It would be a good test to compare an old instrument or reflector with years of wear and tear with a new one. To investigate further the

effect of measuring to an inclined surface to the accuracy of the measurement reflector surfaces of different material, roughness and color could be tested.