



1918  
TALLINNA TEHNIKAÜLIKOOL  
TEEDEINSTITUUT

TRIGONOMEETRILINE NIVELLEERIMINE JA  
LASERSKANEERIMINE TEEDE KÜLMAKERGETE  
UURIMISEL

DETERMINING ROAD FROST HEAVE BY TRIGONOMETRIC  
LEVELING AND TERRESTRIAL LASER SCANNING

**ETG 60 LT**

Üliõpilane:

Taavi Talver

Juhendaja:

MSc. Silja Märdla

Tallinn, 2014

## Kokkuvõte

Käesoleva uurimustöö raames uuriti erinevaid geodeetilisi mõõtmismeetodeid teerajalise deformatsioonide määramisel. Katsetati pikkade vaatekiirtega trigonomeetrilist nivelleerimist kui võimalikku alternatiivi töömahukale kõrgtäpsele geomeetrilisele nivelleerimisele. Teostati kahel epohhil laserskaneerimist, tuvastamaks külmakergetest tekkinud muutusi teepinnas. Lisaks võrreldi erineva kõrgusega statiivide kasutamist teeobjekti laserskaneerimisel. Peamiseks katseobjektiks oli Lokuta - Roovere teelõik Türi lähistel, erinevaid statiive laserskaneerimisel katsetati Tallinnas Külvi tänaval.

Trigonomeetrilist nivelleerimist teostati elektrontahhümeetriga Trimble S6 ning saadud tulemusi võrreldi paralleelselt toimunud kõrgtäpse geomeetrilise nivelleerimisega, mida teostati nivelliiriga Trimble DiNi 03. Eesmärk oli teostada trigonomeetiline nivelleerimine väikese seisupunktide arvuga, mis tähendas võimalikult pikkade vaatekiirte kasutamist. Katsetati ka erinevaid prismaid ning erinevaid prisma kõrgusi. Häid tulemusi saavutati väikese (mini) prismaga kõrgusega 0,4 m ja kasutades automaatset viseerimist (autolocki). Pikim mõõdetud vaatekiir oli ~590 m. Vaatekiirte puhul, mis ületasid 300 m oli mõõdistamisel märgata eriti tugevat refraktsiooni mõju. Suurimad hälbed kõrgustes (kuni 1,7 cm), võrrelduna kõrgtäpse nivelleerimisega, tekkisid samuti pikkade vaatekiirte kasutamisel. Kui vaatekiired ühes nivelleerimiskäigus ei ületanud 265 m ning kasutati väikest 0,4 m kõrgust miniprismat, siis pärast käigu tasandamist oli maksimaalne kõrvalekalle kõrgtäpse nivelleerimise tulemustest 8,5 mm ning 85% mõõdetud punktidest oli see kuni 5 mm. Refraktsiooni mõju vähendamise eesmärgil, katsetati ühel lõigul edasitagasi nivelleerimist, mille tulemusena saavutati pärast tasandamist maksimaalseks hälbeks 6 mm ning 95% punktidel oli see kuni 3 mm.

Laserskaneerimiseks kasutati instrumenti Leica ScanStation C10. Skaneerimine teostati esimesel korral aprillis vahetult pärast lume sulamist eeldatavasti külmakerkinud teepinnalt ning teine kord juuli alguses, kui võis eeldada, et tee on langenud oma tavapärasesse asendisse. Skaneerimise eri epohhide punktipilvedest koostati tee pinnast mudelid, mis lahutati üksteisest leidmaks kõrguslikke muutusi epohhide vahel. Tuvastati, et muutused jäid vahemikku 2,7-13,7 cm. Tee visuaalsel vaatlusel oli näha mitmeid pragusid ning koostatud mudel kinnitas teepinna ebaühtlasi muutusi. Skaneerimise punktipilvede plaaniliseks kokku viimiseks kasutati teekattemärgistust ning kõrgusliku

asendi paika seadmiseks kasutati ühte geomeetrilisel nivelleerimisel kasutatud punkti. Laserskaneeritud teelõigule jäid kõrgtäpsel geomeetrilisel nivelleerimisel profiilipunktidenä kasutatud naelad, mis võimaldasid koostatud mudeli kõrgusliku täpsuse kontrolli. Viiel kontrollitud punktil oli suurimaks erinevuseks geomeetrilise nivelleerimisega 6 mm.

Tallinnas Külvi tänaval katsetati erineva kõrgusega statiive (2 m ja 3,3 m), eesmärgiga leida võimalikud eelised kõrgema statiivi kasutamisel laserskaneerimisel. Eeldati, et kõrgema statiivi kasutamine annab võrdsetel kaugustel suurema tagasipeegelduvate punktide arvu ning ka suurema skaneerimisulatuse ühest mõõtmisjaamast. Skaneerimistel kasutati võrdset eraldusvõimet, milleks oli 0,1 m 100 m peale. Kõrgema statiivi kasutamisel tuvastati, et samal kaugusel on punktipilv 3-4 korda tihedam, kuid skaneerimisulatust 1,3 m kõrgem statiiv oluliselt ei paranda. 45-50 m kaugusel on ühel ruutmeetril madala statiiviga 0,6 punkti ja kõrgema statiiviga 1,9 punkti, vahe on küll ligikaudu 3 korda, aga mõlemal juhul on punktipilv sellisel kaugusel juba niivõrd hõre, et suureks eeliseks seda pidada ei saa. Lisaks tuletati kaks viisi määramaks laserskanneri poolt horisontaalsel teepinnal mõõdetavate punktide teoreetilist arvu, et teada saada mõõdistamisel eemalepeegeldunud punktide kogus. Kahjuks ei ole kasutatud skanneri punktide jaotuse põhimõtted avalikult kättesaadavad ning antud uurimustöö raames pakutud lahendused realistlikku tulemust ei andnud.

Trigonomeetrilisel nivelleerimise tulemuste põhjal võib öelda, et ehitusgeodeetiliste uurimistööde tegemise korras (RT, 2007, §8 lõige 9) ette nähtud maksimaalset 300 m joonepikkust ei ole mõistlik ületada, aga suurt täpsuse erinevust ühes suunas ja seaduses nõutava edasi-tagasi nivelleerimise puhul antud töös ei tuvastatud. Trigonomeetrilist nivelleerimist teeobjekti kõrguslikul uurimisel tasub kaaluda juhul, kui töö teostamiseks piisab täpsusest  $\pm 1$  cm. Laserskaneerimise ja järeltöötuse tulemusena saadi informatsiooni kõrguslike muutuste kohta hinnanguliselt täpsusega samuti  $\pm 1$  cm, mis on piisav külmakergete määramiseks. Samas annab laserskaneerimine väga hea ülevaate teekatte kõrguslikest muutustest igas teepinna punktis.

Antud uurimistöös kasutati laserskaneerimise tulemuste saamiseks paralleelselt toimunud kõrgtäpsel nivelleerimise tulemuste abi. Mõistlikum oleks igal epohhil määrata koordinaadid laserskaneerimisel kasutatavatele tähistele kindlate lähtepunktide suhtes, mis tagab tulemuste iseseisvuse ning lihtsustab ka andmetöötlust, mis omakorda tähendab väiksemat eksimise ohtu.

## Summary

In the current thesis, different geodetic measurement methods were investigated to determine deformations of road surface. Trigonometric leveling with long slope distances was tested as an alternative to labor-intensive precise geometric leveling. Terrestrial laser scanning technology was used on two epochs for determining changes on road surface caused by frost heave. In addition, tripods with different heights were compared in the use of laser scanning. The main test object was a section of the Lokuta-Roovere secondary road near the city Türi, the tripods were tested at Külvi Street in Tallinn.

For trigonometric leveling, a Trimble S6 total station was used and the results were compared with precise geometric leveling that was conducted at the same time using a Trimble DiNi 03 level. The intention was to perform the trigonometric leveling with the least possible number of station points, hence the longest possible slope distances were used. Different prisms and prism heights were also tested. Good results were achieved with a small (mini) prism with the height of 0,4m and using the automatic target aiming function (autolock). The longest measured slope distance of one line was ~590m. When lines of sight were over 400m, strong refraction was noticed during surveying. Maximum deviations (up to 1,7cm), compared to precise geometric leveling, were also noticed on long lines. When the lines of sight in one section did not exceed 265m, a small (mini) prism was used and after distributing the closure error, the maximum deviation, compared to precise geometric leveling, was 8,5mm and on 85% of the measured points it was less than 5mm. To decrease the effect of refraction, one section was leveled back and forth. As a result, the maximum deviation was 6mm and on 95% of the measured points it was less than 3mm.

For terrestrial laser scanning, a Leica ScanStation C10 was used. The first scanning epoch was done in April, right after the snow had melted from the predictably frost heaved road surface and the second epoch in July, when the road had predictably settled back to its normal position. Surface models of the road section were made of each epoch's point cloud, then one model was subtracted from the other to obtain height differences in every point of the section. The height differences determined were between 2,7cm and 13,7cm. Many cracks were discovered on the road surface on visual inspection and the constructed model confirmed uneven settlements.

For transforming two point clouds into the same coordinate system, corners of road surface markings were used. For the height correction, one benchmark of precise geometric leveling was used. There were five benchmarks in the section scanned that were also used in precise geometric leveling. These benchmarks made it possible to verify the height accuracy of the model. The maximum deviation in height on these five points was 6mm.

Tripods with different heights (2m and 3,3m) were tested at Külvi Street in Tallinn. The aim was to find out possible advantages of using a higher tripod for terrestrial laser scanning of a road structure. It was expected that using a higher tripod gives a better scanning range and a higher point density on equal distances from the scanning station. The same scanning resolution of 0,1m on 100m was used. As a result, it was discovered that, at equal distances, using a 1,3m higher tripod increases point density 3 to 4 times. However, the difference in scanning range was not substantial. At the horizontal distance of 45-50m, the point density with a smaller tripod was 0,6points/m<sup>2</sup> while it was 1,9points/m<sup>2</sup> with the higher tripod. Although the difference is around 3 times, the densities are very low for both tripods and hence it is not a remarkable advantage. In addition, two methods for finding the theoretical number of points on a scanned road surface were derived. Unfortunately, the principles of the laser scanning point distribution are not public and neither of the methods suggested in this research yielded realistic results.

According to the results of the trigonometric leveling, it is not advisable to use longer lines of sight than 300m (as also suggested by the Estonian legislation). However no remarkable difference in the height accuracy between one way and double-run leveling was noted to support such requirement. Trigonometric leveling on a road object can be considered as an alternative to geometric leveling, if the height accuracy of  $\pm 1\text{cm}$  is sufficient. As a result of the terrestrial laser scanning and modeling test, information about the changes in the height of a road surface between two epochs was obtained with an assumed accuracy of  $\pm 1\text{cm}$  as well, which is sufficient for determining frost heave. As an advantage, the terrestrial laser scanning gives a very good overview of the height changes at every point of the road.

In the current research, to get accurate results from the laser scanning measurements, the help of precise geometric leveling results was used. Instead, it is advisable to coordinate the targets used for laser scanning on every epoch or at least to

connect them to a stable geodetic height reference point to ensure the independence of the results and simplify data processing, which also decreases the chance of making errors.