



TALLINNA TEHNIKAÜLIKOOL  
INSENERITEADUSKOND

---

Ehituse ja arhitektuuri instituut

MOBIILSE LASERSKANEERIMISE TEHNOLOOGIA  
RAKENDAMINE TEEKATENDITE  
MÕÕDISTAMISEL

APPLICATION OF MOBILE LASER SCANNING TECHNOLOGY FOR  
SURVEYING ROAD SURFACES

MAGISTRITÖÖ

Üliõpilane: Martti Putnik

Kood: 110751EATI

Juhendaja/õppejõud: MSc. Kalev Julge  
Prof. Artu Ellmann

Tallinn, 2018

## Kokkuvõte

Käesoleva uurimistöö raames teostati Tallinna linnas Haabersti ja Kesklinna linnaosas mobiilse laserskaneerimise mõõdistusi Paldiski maantee betoontee katselõigul, Ehitajate tee ja Õismäe tee ristmikul, Tammsaare teed ületava Pärnu maantee viadukti all ja Ülemiste liiklussõlme tunnelis. Eesmärgiks oli hinnata MLS mõõdistusandmete kõrguslikku täpsust. Punktipilvede trajektooride arvutamisel kasutati erinevaid GNSS püsijaamade andmeid. Erinevate lähteandmete järgi arvutatud punkt pilvi võrreldi TLS referentsandmetega ja tunneli puhul Reaalprojekt OÜ ehitusjärgsete mõõdistusega.

MLS andmeid võrreldi TLS andmetega kahel meetodil – pikiprofilide (1x1 m) ja pindade (5x5 cm) võrdlus. Paldiski maantee betoontee katselõigul oli esimesel meetodil KRV maksimaalselt 20,2 mm ning teisel meetodil, pindade võrdluse puhul, samuti 20,2 mm. Ehitajate tee katselõigu näitel oli esimese meetodi puhul MLS ja TLS mõõdistuste võrdluse maksimaalne KRV 13,1 mm ja teise meetodi puhul 12,8 mm. Tammsaare tee viadukti MLS ja TLS mõõdistuste võrdluse puhul oli esimese meetodi KRV maksimaalselt 15,8 mm ja teisel meetodil 15,4 mm. Ülemiste tunneli esimese sõidu korral oli MLS ja teostusjoonise kõrguslike andmete võrdluse KRV maksimaalselt 15,6 mm ja teise sõidu korral, kui enne tunnelisse sisenemist ja peale tunnelist väljumist seisti avatud horisondiga aladel umbes 5 minutit, oli KRV maksimaalselt 14,7 mm.

MLS ja TLS andmeid võrreldes selgus, et tulemused sisaldavad süstemaatilisi vigu. Süstemaatilise vea olemus tulenes lähtepunktidenä kasutatud reeperite ja polügonomeetriapunktide omavahelisest kõrguslikust erinevusest. Peale süstemaatiliste vigade eemaldamist saadi Paldiski maantee betoonlõigu maksimaalseks KRV 4,3 mm, Ehitajate tee katselõigu maksimaalne KRV 5,3 mm ja Tammsaare tee viadukti maksimaalne KRV oli 2,9 mm. MLS ja TLS pindade graafilisel võrdlemisel ilmnis, et MLS pindade puhastamisel kasutatud poolautomaatse filtreerimisega oli punkt pilve jäänud müra, mis põhjustas mõningast KRV suurenemist. MLS mõõdistuse täpsus saavutati ilma kontrollpunkte kasutamata.

Võrreldes varasemate töödega, kus kasutati punkt pilve täpsuse suurendamiseks kontrollpunkte (vt ptk 1 (Annok 2017)) on käesoleva töö tulemused keskeltläbi 7-8 mm halvemad. Kasutades kontrollpunkte on võimalik vältida süstemaatiliste vigade teket ja tagada punkt pilvede ühtlasem täpsus. Samas on kontrollpunktide mõõdistamine aeganõudev töö.

Antud uurimistöös püstitatud eesmärgid täideti. MLS mõõdistust on võimalik kasutada täpsete pinnamudelite loomiseks. Õigete mõõdistusvõtetega on võimalik MLS mõõdistusega kogutud andmeid kasutada näiteks teede ehituses mahuarvutuste mõõdistamisel, freesprojektide koostamisel jne. Antud töös oli KRV ainult ühel mõõdistusalal, kus kasutati trajektoori arvutuseks polügonomeetriapunkti andmeid, Maanteeameti kehtestatud  $\pm 2$  cm nõuetest suurem, kuid ilmnenu süstemaatilise vea elimineerimisel saadi KRV 3,8 mm. Suurt täpsust nõudvate tööde puhul on otstarbekas kasutada kontrollpunkte, et vältida süstemaatilisi vigu ja tagada punktipilve täpsus.

## Summary

### APPLICATION OF MOBILE LASER SCANNING TECHNOLOGY FOR SURVEYING ROAD SURFACES

Martti Putnik

In this thesis mobile laser scanning (MLS) was applied for surveying road surfaces in four different study areas in Tallinn: a concrete road on *Paldiski maantee*; the intersection of *Ehitajate tee* and *Õismäe tee*; *Tammsaare tee* underpass below *Pärnu maantee* bridge and Ülemiste tunnel. For surveying the road in the tunnel, in addition to routine scanning, a method was used where before entering an area with disrupted GNSS signal, the MLS system stood still for about 5 minutes in an area with open sky. It was repeated before and after passing through the tunnel. Objective of the thesis was to evaluate the vertical accuracy of MLS data. Different GNSS base station data were used to calculate the trajectories of the MLS platform. Point clouds were compared with TLS reference data and with *Reaalprojekt OÜ* as-built survey data of the tunnel measured with total station.

Two methods were used for comparing MLS data with TLS data– comparing longitudinal profiles (1x1 m) and surfaces (5x5 cm). In the study area of *Paldiski maantee* (concrete road) the RMS was maximum 20,2 mm with both methods. In the study area of *Ehitajate tee* the maximum RMS of the MLS and TLS data comparison was 13,1 mm using the first method and 12,8 mm using the second method. Comparing MLS and TLS surveys of *Tammsaare tee* underpass, the RMS was maximum 15,8 mm with the first method and 15,4 mm with second method. The RMS of comparing MLS and total station data of routine scanning method for Ülemiste tunnel was maximum 15,6 mm and RMS of the „5 minutes still“ scanning method was maximum 14,7 mm.

Comparing MLS and TLS data it was found that the results contained systematic errors. Systematic errors were caused by vertical differences between levelling benchmarks and other survey marks that were used as reference points. After eliminating systematic errors, the maximum RMS was 4,3 mm in *Paldiski maantee* concrete road, 5,3 mm in *Ehitajate tee* and 2,9 mm in *Tammsaare tee* underpass study area. Comparing MLS and TLS surfaces graphically it was found that using semiautomatic filtering for cleaning the MLS surfaces left some noise in the point cloud which increased the RMS values. Accuracy of the MLS survey was obtained without using checkpoints.

In comparison with previous research where checkpoints were used to increase the point cloud accuracy (e.g. Annok 2017), the results of the present research were on average 7-8 mm worse. By using checkpoints it is possible to avoid systematic errors and provide more consistent accuracy of the point clouds. However, measuring checkpoints is a time consuming process.

The objectives of the thesis were accomplished. It is possible to use MLS surveying to create precise digital terrain models. Using proper measuring techniques it is possible to use MLS data, for example, to calculate volumes in road constructions, to compile pavement milling projects, etc. In this study the RMS was larger than  $\pm 2$  cm (requirement set by the Estonian Road Administration) in only one study area where the GNSS base station was placed on a polygonometric point to calculate the trajectory. However, after eliminating the systematic errors, the RMS was 3,8 mm, which meets the required accuracy. It is recommended to use checkpoints when high accuracy of the point cloud is required to avoid systematic errors.