

Univerza
v Ljubljani

Fakulteta
za gradbeništvo
in geodezijo



Jamova cesta 2
1000 Ljubljana, Slovenija
<http://www3.fgg.uni-lj.si/>

DRUGG – Digitalni repozitorij UL FGG
<http://drugg.fgg.uni-lj.si/>

To je izvirna različica zaključnega dela.

Prosimo, da se pri navajanju sklicujete na bibliografske podatke, kot je navedeno:

Možina, J., 2016. Kontrolne meritve žerjavne proge s terestričnim laserskim skeniranjem. Magistrsko delo. Ljubljana, Univerza v Ljubljani, Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo. (mentor Ambrožič, T., somentor Kregar, K.): 105 str.

Datum arhiviranja: 05-05-2016

University
of Ljubljana

Faculty of
Civil and Geodetic
Engineering



Jamova cesta 2
SI – 1000 Ljubljana, Slovenia
<http://www3.fgg.uni-lj.si/en/>

DRUGG – The Digital Repository
<http://drugg.fgg.uni-lj.si/>

This is original version of final thesis.

When citing, please refer to the publisher's bibliographic information as follows:

Možina, J., 2016. Kontrolne meritve žerjavne proge s terestričnim laserskim skeniranjem. Master Thesis. Ljubljana, University of Ljubljani, Faculty of civil and geodetic engineering. (supervisor Ambrožič, T., co-supervisor Kregar, K.): 105 pp.

Archiving Date: 05-05-2016

Univerza
v Ljubljani

Fakulteta za
*gradbeništvo in
geodezijo*



Jamova 2
1000 Ljubljana, Slovenija
telefon (01) 47 68 500
faks (01) 42 50 681
fgg@fgg.uni-lj.si

**MAGISTRSKI ŠTUDIJSKI
PROGRAM DRUGE STOPNJE
GEODEZIJA IN
GEOINFORMATIKA**

Kandidat:

JAN MOŽINA

**KONTROLNE MERITVE ŽERJAVNE PROGE S
TERESTRIČNIM LASERSKIM SKENIRANJEM**

Magistrsko delo št.: 13/II.GIG

**CONTROL MEASUREMENTS OF CRANE RAILS
USING TERRESTRIAL LASER SCANNING**

Graduation – Master Thesis No.: 13/II.GIG

Mentor:

izr. prof. dr. Tomaž Ambrožič

Somentor:

asist. Klemen Kregar

Ljubljana, 25. 04. 2016

STRAN ZA POPRAVKE

Stran z napako

Vrstica z napako

Namesto

Naj bo

IZJAVE

Podpisani Jan Možina izjavljam, da sem avtor magistrskega dela z naslovom »Kontrolne meritve žerjavne proge s terestričnim laserskim skeniranjem«.

Izjavljam, da je elektronska različica v vsem enaka tiskani različici.

Izjavljam, da dovoljujem objavo elektronske različice v repozitoriju UL FGG.

Dolenja Dobrava, 5. 3. 2016

Jan Možina

BIBLIOGRAFSKO - DOKUMENTACIJSKA STRAN IN IZVLEČEK

UDK:	528.486(043.3)
Avtor:	Jan Možina, dipl. inž. geod. (UN)
Mentor:	izr. prof. dr. Tomaž Ambrožič
Somentor:	asist. Klemen Kregar
Naslov:	Kontrolne meritve žerjavne proge s terestričnim laserskim skeniranjem
Tip dokumenta:	magistrsko delo
Obseg in oprema:	105 str., 16 pregl., 67 sl., 40 en., 9 pril.
Ključne besede:	žerjavna proga, tirnica, terestrično lasersko skeniranje, razpon, višinska razlika, odmik

Izveček

V magistrskem delu je predstavljena nova metoda za določitev geometrije tirnic žerjavne proge, in sicer na podlagi meritev s terestričnim laserskim skeniranjem in z izdelanim računalniškim programom, ki na osnovi oblaka točk tirnic določi horizontalni in vertikalni potek žerjavne proge. Metodo smo testirali na žerjavnih progah hidroelektrarne Krško in termoelektrarne Brestanica, za kateri smo po skeniranju iz oblaka točk ekstrahirali zgornjo in stransko notranjo ploskev glave tirnic. Posamezno žerjavno progo smo razdelili na segmente, skozi katere smo izravnali ravnine in določili karakteristične linije tirnic. Na osnovi profilov smo med karakterističnima točkama na istem profilu določili položajne in višinske odmike tirnic, dejanski razpon in višinsko razliko med tirnicama žerjavne proge in preverili, ali so izračunani parametri geometrije skladni s predpisi, ki jih določa obravnavan standard. V nalogi smo tudi raziskali, kako se parametri geometrije tirnic, ki so določeni z metodo terestričnega laserskega skeniranja, ujemajo s parametri, določenimi s klasično polarno metodo detajlne izmere. Prav tako smo tudi testirali, kako na določitev parametrov vpliva dolžina segmenta in gostota točk tirnic. Na osnovi ugotovitev, do katerih smo prišli med izdelavo naloge, smo podali določene smernice za kakovostno določitev geometrije tirnic žerjavne proge s tehnologijo terestričnega laserskega skeniranja.

BIBLIOGRAPHIC-DOCUMENTALISTIC INFORMATION AND ABSTRACT

UDC:	528.486(043.3)
Author:	Jan Možina, B.Sc.
Supervisor:	Assoc. Prof. Tomaž Ambrožič, Ph.D.
Cosupervisor:	Assist. Klemen Kregar, B.Sc.
Title:	Control measurements of crane rails using terrestrial laser scanning
Document type:	M. Sc. Thesis
Notes:	105 p., 16 tab., 67 fig., 40 eq., 9 ann.
Key words:	crane rail, rail, terrestrial laser scanning, span, height difference, offset

Abstract

The master's thesis presents a new method for crane rail geometry determination, i. e. based on measurements obtained by using a terrestrial laser scanner and a dedicated computer programme which, on the basis of the rail points cloud, determines the horizontal and vertical path of the crane rail. The method was tested on the crane rails of Krško Hydroelectric Power Plant and Brestanica Thermal Power Plant, where, after scanning the point cloud, the upper and the lateral internal surface of railheads was derived. Each crane rail was divided into segments, through which the planes were fitted and the characteristic rail lines were determined. Based on the profiles, positional and height rail offsets were determined between the characteristic points on the same profile, as well as the actual span and the height difference between the crane rails. Furthermore, it was verified whether the calculated geometry parameters complied with the rules set by the standard in question. The thesis also examined how the rail geometry parameters – as determined by the terrestrial laser scanning method – correspond with the parameters determined by the classical polar method of surveying. Furthermore, it was tested how the determination of patterns is influenced by the length of the segment as well as the density of rail points. Based on the conclusions drawn during the elaboration of this thesis, certain guidelines are given on how to ensure the quality of crane rail geometry determination using terrestrial laser scanning technology.

ZAHVALA

Za strokovno pomoč, nasvete in predloge pri izdelavi magistrskega dela se zahvaljujem mentorju izr. prof. dr. Tomažu Ambrožiču in somentorju asist. Klemnu Kregarju. Zahvaljujem se tudi doc. dr. Alešu Marjetiču za sodelovanje in pomoč pri izvedbi meritev na terenu.

Posebna zahvala gre tudi staršem za vso podporo v času študija.

KAZALO VSEBINE

1 UVOD.....	1
1.1 Predstavitev teme - problema	1
1.2 Hipoteze.....	2
1.3 Standard.....	2
1.4 Pregled sorodnih del.....	5
2 METODE IZMERE	7
2.1 Alinman in geometrični nivelman	7
2.2 Klasična polarna metoda detajlne izmere.....	9
2.2.1 Izračun zahtevane natančnosti meritev.....	9
2.2.2 Platforma L.....	11
2.2.3 Izračun natančnosti koordinat kontrolnih točk	12
2.3 Terestrično lasersko skeniranje	13
2.3.1 Odklanjanje laserskega žarka	14
2.3.2 Merjenje dolžin	15
2.3.2.1 Triangulacijski način.....	15
2.3.2.2 Impulzni način.....	16
2.3.2.3 Fazni način	17
2.3.3 Izvori pogreškov.....	18
2.3.3.1 Odbojna površina objekta	19
2.3.3.2 Geometrija skeniranja	20
2.3.3.3 Georeferenciranje.....	23
3 ORODJA ZA IZRAČUN GEOMETRIJE TIRNIC IZ OBLAKA TOČK	25
3.1 RANSAC.....	25
3.2 Izravnava ravnine	26
3.3 Presečišče ravnin	28
4 IZVEDBA MERITEV	30
4.1 Izmera žerjavne proge v HEK	30

4.1.1 Vzpostavitev geodetske mreže	31
4.1.2 Klasična polarna metoda detajlne izmere	34
4.1.3 Terestrično lasersko skeniranje	35
4.2 Izmera žerjavne proge v TEB	41
5 OBDELAVA OBLAKA TOČK IN IZRAČUN	46
5.1 Priprava podatkov za izračun	46
5.2 Definiranje koordinatnega sistema za opis žerjavne proge	47
5.3 Algoritem za določitev karakterističnih linij tirnic	48
5.4 Algoritem za določitev parametrov geometrije tirnic žerjavne proge.....	53
6 REZULTATI IN ANALIZA	57
6.1 Žerjavna proga HEK	57
6.1.1 Klasična polarna metoda detajlne izmere	57
6.1.2 Terestrično lasersko skeniranje	65
6.1.3 Testiranje hipoteze 1	73
6.2 Žerjavna proga TEB.....	78
6.2.1 Testiranje hipoteze 2	85
6.2.2 Testiranje hipoteze 3	90
7 SMERNICE ZA KAKOVOSTNO DOLOČITEV GEOMETRIJE TIRNIC ŽERJAVNE PROGE S TEHNOLOGIJO TLS.....	95
8 ZAKLJUČEK.....	99
VIRI.....	101
Uporabljeni viri	101
Ostali viri.....	105

KAZALO PREGLEDNIC

Preglednica 1: Tehnični podatki za različne tipe tirnic po standardu DIN 536 P1:1991 [6]	5
Preglednica 2: Glavne tehnične lastnosti instrumenta Leica Geosystems TS30 R1000 [17]	33
Preglednica 3: Izravnane koordinate referenčnih točk s pripadajočimi natančnostmi v koordinatnem sistemu instrumenta	33
Preglednica 4: Glavne tehnične lastnosti instrumenta Leica Nova MS50 [31]	36
Preglednica 5: Ločljivost skeniranja po posameznih odsekih	40
Preglednica 6: Glavne tehnične lastnosti terestričnega laserskega skenerja RIEGL VZ-400 [33].....	42
Preglednica 7: Horizontalni parametri žerjavne proge HEK na osnovi klasične polarne metode detajlne izmere.....	58
Preglednica 8: Vertikalni parametri žerjavne proge HEK na osnovi klasične polarne metode detajlne izmere.....	61
Preglednica 9: Statistika dvakratnih meritev na isto tarčo.....	64
Preglednica 10: Statistika točk v vsaki liniji	64
Preglednica 11: Natančnost koordinat oziroma natančnost odmikov, razponov in višinskih razlik tirnic na osnovi eliminacije vpliva nehorizontalnosti.....	65
Preglednica 12: Horizontalni parametri žerjavne proge HEK na osnovi metode TLS.....	66
Preglednica 13: Vertikalni parametri žerjavne proge HEK na osnovi metode TLS.....	70
Preglednica 14: Primerjava horizontalnih in vertikalnih parametrov geometrije žerjavne proge obeh metod izmere	74
Preglednica 15: Horizontalni parametri žerjavne proge TEB.....	79
Preglednica 16: Vertikalni parametri žerjavne proge TEB.....	83

KAZALO SLIK

Slika 1: Določitev razpona med tirnicama	3
Slika 2: Določitev višinske razlike med tirnicama	4
Slika 3: Prečni prerez tirnice	4
Slika 4: Princip alinmana	8
Slika 5: Horizontalna izmera s teodolitom in ravnilom	8
Slika 6: Platforma L z odmiki prizem od karakteristične točke [15]	11
Slika 7: Princip terestričnega laserskega skeniranja.....	14
Slika 8: Načini odklona laserskega žarka [18]	14
Slika 9: Triangulacijski način merjenja dolžine [20]	16
Slika 10: Impulzni način merjenja dolžine [15]	17
Slika 11: Fazni način merjenja dolžine [15].....	18
Slika 12: Levo: odboj od gladke površine; desno: odboj od hrapave površine.....	19
Slika 13: Pojav absorpcije	20
Slika 14: Velikost laserskega odtisa v odvisnosti od oddaljenosti skenerja od objekta	20
Slika 15: Laserski odtis v odvisnosti od vpadnega kota skeniranja	21
Slika 16: Odboj istega laserskega žarka od dveh ploskev	22
Slika 17: Ločljivost in gostota točk v odvisnosti od oddaljenosti skenerja od objekta in od vpadnega kota.....	22
Slika 18: Razmiki med laserskimi odtisi.....	23
Slika 19: Strojnica z žerjavno progo	30
Slika 20: Levo: gorvodna tirnica; sredina: dolvodna tirnica; desno: konec žerjavne proge.....	31
Slika 21: Skica geodetske mreže	32
Slika 22: Signalizacija referenčnih točk B in C na mostu žerjava	32
Slika 23: Levo: signalizacija tirnice s platformo L; desno: stojišče instrumenta	34
Slika 24: Skica klasične polarne metode detajlne izmere žerjavne proge	35
Slika 25: Ploskvi tirnice, ki ju je potrebno poskenirati	37
Slika 26: Levo: Instrument Leica Nova MS50 na točki C med skeniranjem tirnice; desno: označitev območja skeniranja na zaslonu instrumenta	38
Slika 27: Skica skeniranja po odsekih iz obeh stojišč	39
Slika 28: Tirnici žerjavne proge na južni in severni strani strojnice	41

Slika 29: Terestrični laserski skener RIEGL VZ-400 povezan s prenosnim računalnik med skeniranjem	42
Slika 30: Severna tirnica.....	43
Slika 31: Oblak točk hale strojnice v nižji ločljivosti.....	43
Slika 32: Skica skeniranja tirnic	44
Slika 33: Levo: gostota točk na začetku tirnice; desno: gostota točk na koncu tirnice	44
Slika 34: Rdeče točke označujejo točke, ki jih je potrebno ročno filtrirati iz skeniranega oblaka točk	47
Slika 35: Algoritem za izračun karakterističnih linij tirnic	48
Slika 36: Filtriran oblak točk zgornje in stranske ploskve na poljubno izbranem odseku tirnice	49
Slika 37: Prikaz sedmih segmentov tirnice.....	50
Slika 38: Primer uporabe algoritma RANSAC.....	50
Slika 39: Izravnani ravnini segmenta s pripadajočo karakteristično linijo.....	51
Slika 40: Pravokotno odstopanje pripadajočih točk tirnice od izravnane ravnine poljubnega segmenta	52
Slika 41: Algoritem za izračun parametrov geometrije tirnic žerjavne proge.....	53
Slika 42: 3D prikaz dela žerjavne proge z izdelanimi profili	55
Slika 43: Položajni odmiki in natančnosti odklikov tirnic žerjavne proge HEK na osnovi klasične polarne metode detajlne izmere	60
Slika 44: Razponi in natančnosti razponov med tirnicama žerjavne proge HEK na osnovi klasične polarne metode detajlne izmere	60
Slika 45: Višinski odmiki in natančnosti odklikov tirnic žerjavne proge HEK na osnovi klasične polarne metode detajlne izmere	63
Slika 46: Višinske razlike in natančnosti višinskih razlik med tirnicama žerjavne proge HEK na osnovi klasične polarne metode detajlne izmere	63
Slika 47: Položajni odmiki in natančnosti odklikov tirnic žerjavne proge HEK na osnovi metode TLS	68
Slika 48: Razponi in natančnosti razponov med tirnicama žerjavne proge HEK na osnovi metode TLS	69
Slika 49: Višinski odmiki in natančnosti odklikov tirnic žerjavne proge HEK na osnovi metode TLS	72
Slika 50: Višinske razlike in natančnosti višinskih razlik med tirnicama žerjavne proge HEK na osnovi metode TLS.....	72
Slika 51: Primerjava položajnih odklikov	76

Slika 52: Primerjava razponov med tirnicama	76
Slika 53: Primerjava višinskih odmikov	77
Slika 54: Primerjava višinskih razlik med tirnicama.....	78
Slika 55: Položajni odmiki in natančnosti odmikov tirnic žerjavne proge TEB	81
Slika 56: Razponi in natančnosti razponov med tirnicama žerjavne proge TEB	82
Slika 57: Višinski odmiki in natančnosti odmikov tirnic žerjavne proge TEB.....	84
Slika 58: Višinske razlike in natančnosti višinskih razlik med tirnicama žerjavne proge TEB	85
Slika 59: Položajni odmiki v odvisnosti od dolžine segmenta	86
Slika 60: Razponi v odvisnosti od dolžine segmenta	87
Slika 61: Višinski odmiki v odvisnosti od dolžine segmenta.....	88
Slika 62: Višinske razlike v odvisnosti od dolžine segmenta.....	89
Slika 63: Povprečna natančnost karakterističnih točk v odvisnosti od dolžine segmenta.....	89
Slika 64: Položajni odmiki v odvisnosti od gostote točk	91
Slika 65: Razponi v odvisnosti od gostote točk	92
Slika 66: Višinski odmiki v odvisnosti od gostote točk	93
Slika 67: Višinske razlike v odvisnosti od gostote točk.....	93

KRATICE

2D	Dvorazsežen, dvodimenzionalen
3D	Trirazsežen, tridimenzionalen
HEK	Hidroelektrarna Krško
RANSAC	Soglasje naključnega vzorca (ang. RANdom SAmple Consensus)
SVD	Singularni razcep (ang. Singular Value Decomposition)
TEB	Termoelektrarna Brestanica
TLS	Terestrično lasersko skeniranje

1 UVOD

V današnjem času se industrija hitro in obsežno razvija, s tem pa tudi tehnologija proizvodnih postopkov in procesov. Za zagotovitev optimalnega delovanja industrije se na določenih področjih industrijskih panog zahteva ustrezna natančnost montaže žerjavnih prog in kasneje, po določenem času obratovanja, tudi kontrola njihove geometrije [1].

1.1 Predstavitev teme - problema

Žerjavne proge so namenjene transportu bremen v avtomobilski industriji, energetiki, jedrski industriji, lukah, ladjedelnicah, rudarstvu... Glede na namen uporabe, ločimo konzolne in talne žerjavne proge. Pogosto je na eni žerjavni progi nameščenih več žerjavov, kar v primeru okvare enega žerjava še ne pomeni nujno prekinitve celotnega delovnega procesa, medtem ko okvara žerjavne proge lahko privede do zaustavitve vseh žerjavov in posledično do gospodarskih posledic [1].

Geodetske dela na žerjavnih progah se izvajajo v naslednjih primerih [1]:

- pri montaži novih žerjavnih prog,
- po zaključku gradbenih del, preden gre objekt v obratovanje,
- pri podaljševanju in obnovi obstoječe žerjavne proge,
- pri kontrolnih meritvah žerjavne proge in
- po nesrečah, ki so povezane z žerjavi.

V naši nalogi se bomo osredotočili na kontrolne meritve žerjavne proge, ki predstavljajo pomembno področje v inženirski geodeziji. Kontrolne meritve so nujne, saj se morajo žerjavi vzdolž tirnic žerjavne proge premikati z minimalnim nagibom in brez odpora, saj v nasprotnem primeru pride do nepravilnega premikanja žerjava po tirnicah, kar povzroči prezgodnjo obrabo koles in tirnic. Posledica nepravilnega premikanja so draga popravila in izpad delovanja ter neučinkovito in neustrezno delovanje žerjava. Poznamo več razlogov za nepravilno premikanje žerjava [2]:

- tirnica ni poravnana ali je obrabljena,
- manjkajo sponke,
- podloge so obrabljene,
- struktura proge je neravna, upognjena ali zavita zaradi posedanja stebrov, preobremenitev ali udarcev,
- korozija,
- neustrezna namestitvev.

V geodetskem smislu pomeni kontrola žerjavnih prog izvajanje kontinuiranih geodetskih meritev visoke natančnosti, s katerimi določimo, ali gre za pravilno ali nepravilno premikanje žerjava. S kontinuiranimi meritvami kontroliramo geometrijo tirnic žerjavne proge, saj se parametri geometrije, določeni v projektni dokumentaciji, spreminjajo v obratovalni dobi žerjava. Pravilna geometrija tirnic omogoča pravilno gibanje žerjava in s tem preprečuje dodatne poškodbe ter zagotavlja varnost pri upravljanju z žerjavnimi progami.

Namen magistrskega dela je raziskati in predstaviti možnost uporabe tehnologije terestričnega laserskega skeniranja (TLS) pri kontrolnih meritvah geometrije tirnic žerjavne proge. Cilj magistrskega dela je, da na podlagi skeniranih oblakov točk, opravimo kontrolo horizontalne in vertikalne situacije tirnic žerjavne proge z natančnostjo, da bo mogoče zagotovo trditi, da konstrukcija izpolnjuje zahteve, ki so predpisane s standardom. S terestričnim laserskim skenerjem bomo opravili meritve žerjavne proge na dveh elektrarnah in na osnovi izračunov opravili kontrolo razpona tirnic glede na projektirano vrednost in kontrolo največje dovoljene višinske razlike med tirnicama v posameznem prečnem prerezu. Pomembna parametra geometrije tirnic v fazi kontrole sta, poleg razpona in višinske razlike, tudi premočrtnost tirnice in paralelnost tirnic, ki ju določimo na osnovi odmikov tirnic od referenčne linije. Meritve bomo na enem objektu izvedli tudi s klasično polarno metodo detajlne izmere, katere nam bodo služile za primerjavo z metodo TLS. Eden izmed ciljev je tudi analiza, kako dolžina segmenta tirnice in gostota skeniranih točk tirnice vplivata na določitev parametrov žerjavne proge.

1.2 Hipoteze

V magistrskem delu postavimo naslednje hipoteze, ki jih v nalogi testiramo:

- hipoteza številka 1: metoda TLS je glede določitve parametrov geometrije tirnic žerjavne proge primerljiva s klasično polarno metodo detajlne izmere,
- hipoteza številka 2: dolžina segmenta tirnice vpliva na določitev parametrov geometrije tirnic žerjavne proge,
- hipoteza številka 3: gostota točk tirnic vpliva na določitev parametrov geometrije tirnic žerjavne proge.

1.3 Standard

Standard je dokument, ki določa pravila in smernice za dejavnosti in njihove rezultate ter je namenjen za občo in večkratno uporabo. V standardih lahko najdemo tehnične specifikacije, pravila, navodila,

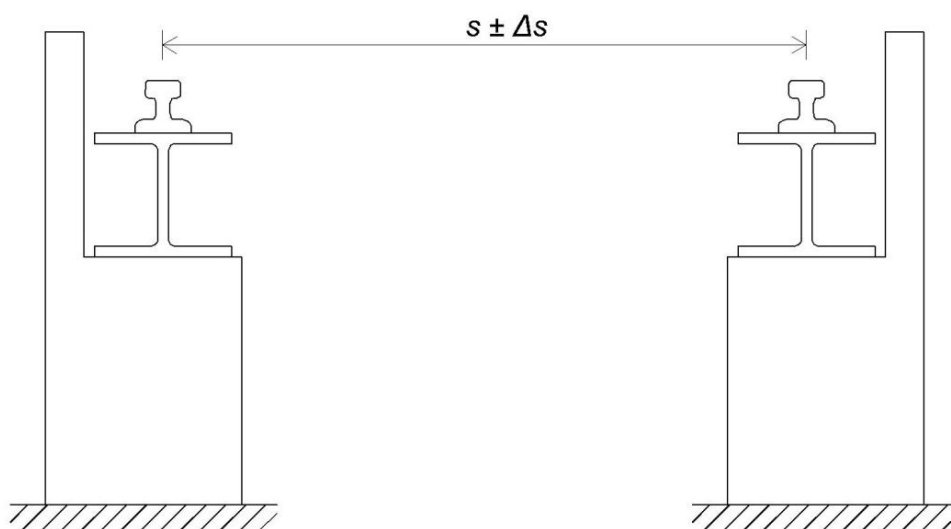
preskusne postopke in definicije posameznih značilnosti [3]. Za našo nalogo sta pomembna Evrokod 3 standard in standard DIN 536 P1:1991.

Evrokodi tvorijo sistem evropskih standardov za projektiranje gradbenih konstrukcij. Določajo osnovna načela in kriterije za doseganje varnosti in stabilnosti konstrukcij ter razmeroma natančno predpisujejo postopke izračunov [3]. DIN standardi so zbirka nemških nacionalnih standardov in vsebujejo predpise za dimenzije in lastnosti tehničnih materialov [4].

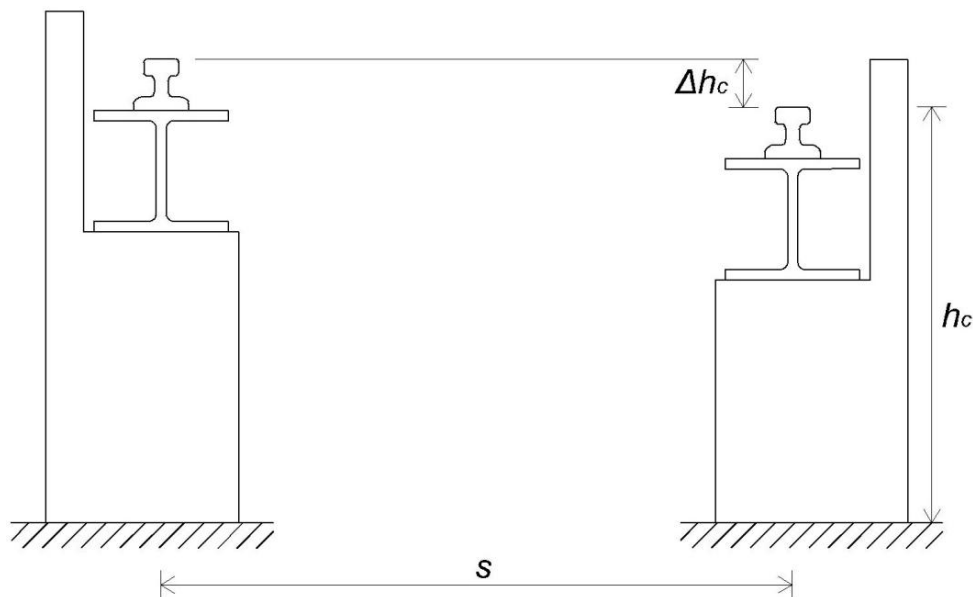
Za kontrolo razpona in višinske razlike smo uporabili Evrokod 3 standard, ki govori o projektiranju jeklenih konstrukcij. Zahteve, ki jih mora izpolniti žerjavna proga, so [5]:

- dejanski razpon lahko od projektiranega razpona (s) odstopa za največ $\Delta s = 10$ mm (Slika 1),
- dovoljena višinska razlika (Δh_c) med tirnicama v posameznem prečnem prerezu mora ustrezati pogoju naslednje enačbe (Slika 2):

$$\Delta h_c \leq \frac{s}{600} \quad (1)$$

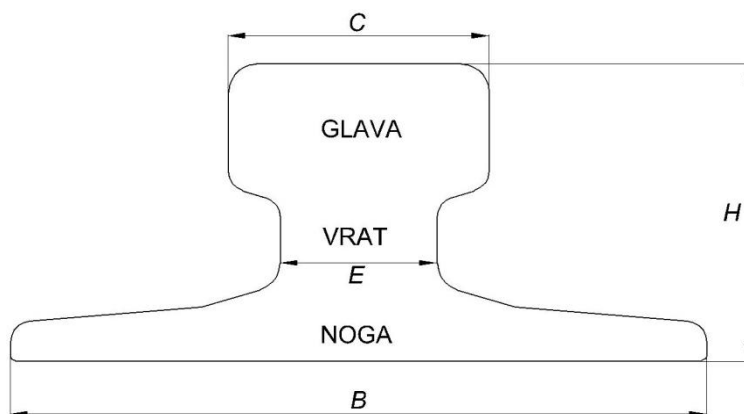


Slika 1: Določitev razpona med tirnicama



Slika 2: Določitev višinske razlike med tirnicama

Tirnico sestavljajo trije deli, in sicer glava, vrat in noga (Slika 3). V našem primeru so opazovane tirnice zgrajene na osnovi standarda DIN 536 P1:1991, ki določa geometrijo, kemično sestavo in mehanske lastnosti tirnice. Po tem standardu so tirnice na voljo v različnih dimenzijah od A45 do A150, kjer številke predstavljajo širino glave v milimetrih (Preglednica 1) [6]. Za nas je pomemben parameter širina glave C , saj na osnovi tega parametra, ki predstavlja vhodni podatek za izračune, določimo dejanski razpon med tirnicama.



Slika 3: Prečni prerez tirnice

Preglednica 1: Tehnični podatki za različne tipe tirnic po standardu DIN 536 P1:1991 [6]

Tip tirnice	H [mm]	B [mm]	C [mm]	E [mm]
A45	55,00	125,00	45,00	24,00
A55	65,00	150,00	55,00	31,00
A65	75,00	175,00	65,00	38,00
A75	85,00	200,00	75,00	45,00
A100	95,00	200,00	100,00	60,00
A120	105,00	220,00	120,00	72,00
A150	150,00	220,00	150,00	80,00

1.4 Pregled sorodnih del

Tehnologija TLS se uporablja v številnih inženirskih nalogah, zato se je pojavila tudi možnost uporabe te tehnologije pri kontrolnih meritvah tirnic žerjavne proge. Večina do sedaj opravljenih raziskav se osredotoča predvsem na naloge, ki so povezane s kontrolo tirnic v železniškem prometu. Avtorji se usmerjajo predvsem na učinkovite metode avtomatskega prepoznavanja tirnic iz oblaka točk ter na izdelavo njihovih 3D modelov in trajektorij.

Babenco [7] je v svoji raziskavi predstavil algoritem oziroma metodo računalniškega vida, na osnovi katere preko dveh laserskih skenerjev, nameščenih na posebnem vozičku, ki se giblje po tirnicah, določi razpon tirnic.

Benito [8] je razvil metodo, ki avtomatsko iz oblaka točk izdela 3D model tirnice. Avtor oblak točk najprej razdeli na več enakih delov, na njihovi osnovi algoritem avtomatsko prepozna ravnine na glavi tirnice. Za določitev 3D modela tirnice uporabi metodo najmanjših kvadratov in Bezierovo krivuljo.

Elberink skupaj s sodelavci [9] opiše metodo prepoznavanja in modeliranja tirnic iz oblaka točk, zajetega z mobilnim laserskim skenerjem. Za rešitev problema uporabi soglasje naključnega vzorca (RANSAC).

Soni in sodelavca [10] prikažejo možnost uporabe statičnega terestričnega laserskega skenerja za ugotavljanje geometrije železniških tirov. Različne dele tirnice prilegajo tako, da se čim boljše ujemajo s standardiziranim modelom tirnice, vendar je, zaradi nekoliko slabše natančnosti aproksimacije, cilj njihove naslednje študije [11] izboljšati natančnost, tako da poskušajo čim boljše optimizirati zajem in čiščenje podatkov ter fitanje ravnin.

Specifično študijo je opravil Kostov [12], v kateri na osnovi tehnologije TLS opravi kontrolne meritve in analizira geometrijo jeklene konstrukcije. Ugotovi, da je mogoče pridobiti natančne informacije o razdaljah med različnimi deli konstrukcije, vertikalnosti stebrov, neskladjih med dejanskimi in teoretičnimi osmi.

Kopačik in Wunderlich [13] testirata uporabnost TLS na hidrotehničnih objektih, kjer opravita tudi kontrolne meritve žerjavne proge. V raziskavi ne predstavita natančne metodologije dela, vendar zapišeta, da je metoda TLS primerna za tovrstne naloge.

Kremen in sodelavci [14] v svoji študiji testirajo možnost uporabe TLS pri kontrolnih meritvah žerjavnih prog. Tirnico skenirajo iz štirih stojišč, jo filtrirajo in razdelijo na segmente enakih dolžin. Za določitev parametrov žerjavne proge tirnico aproksimirajo z ravninami. Ugotovijo, da so rezultati, pridobljeni s tehnologijo TLS, primerljivi s klasično metodo izmere in dokažejo, da metoda TLS omogoča kontrolo geometrije žerjavnih prog.

2 METODE IZMERE

Pri kontrolnih meritvah tirnic žerjavne proge je potrebno zaznati položajne in višinske spremembe tirnic velikostnega reda nekaj milimetrov. Takšne spremembe je mogoče prepoznati z različnimi geodetskimi metodami. Za izvedbo meritev se najpogosteje uporabljajo instrumenti teodolit, nivelir in tahimeter.

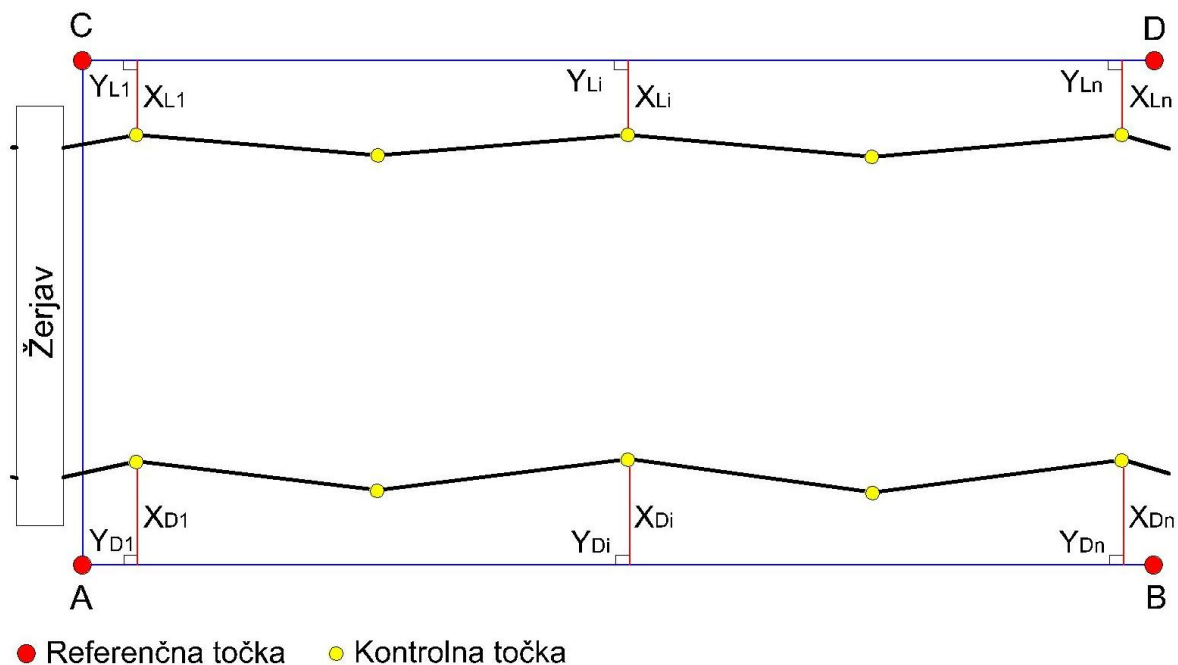
Zelo pogosto se geometrija tirnic določi s klasičnimi načini, največkrat z metodo alinmana in geometričnega nivelmana, vendar so se v praksi pojavile tudi nekatere alternativne metode, kot so na primer: dinamični način s 360° prizmo na posebnem premikajočem nosilcu s tipali, popolna avtomatizacija postopka z laserjem in svetlobnim senzorjem na vozičku in klasična polarna metoda detajlne izmere [15]. Izmera geometrije tirnic žerjavne proge je mogoča tudi s tehnologijo TLS, ki predstavlja zelo redko uporabljen pristop reševanja problemov pri tovrstnih inženirskih nalogah. Prav tako je potrebno omeniti, da so nekatera podjetja, ki se ukvarjajo s storitvami na področju žerjavov, razvila specifične načine izmere in določitve geometrije tirnic.

V naši nalogi bomo meritve izvedli s tehnologijo TLS in s klasično polarno metodo detajlne izmere, zato bomo ti dve metodi v nadaljevanju podrobneje predstavili. Prav tako bomo opisali tudi klasično metodo z alinmanom in geometričnim nivelmanom, saj se ta metodo pogosto uporablja pri tovrstnih izmerah.

2.1 Alinman in geometrični nivelman

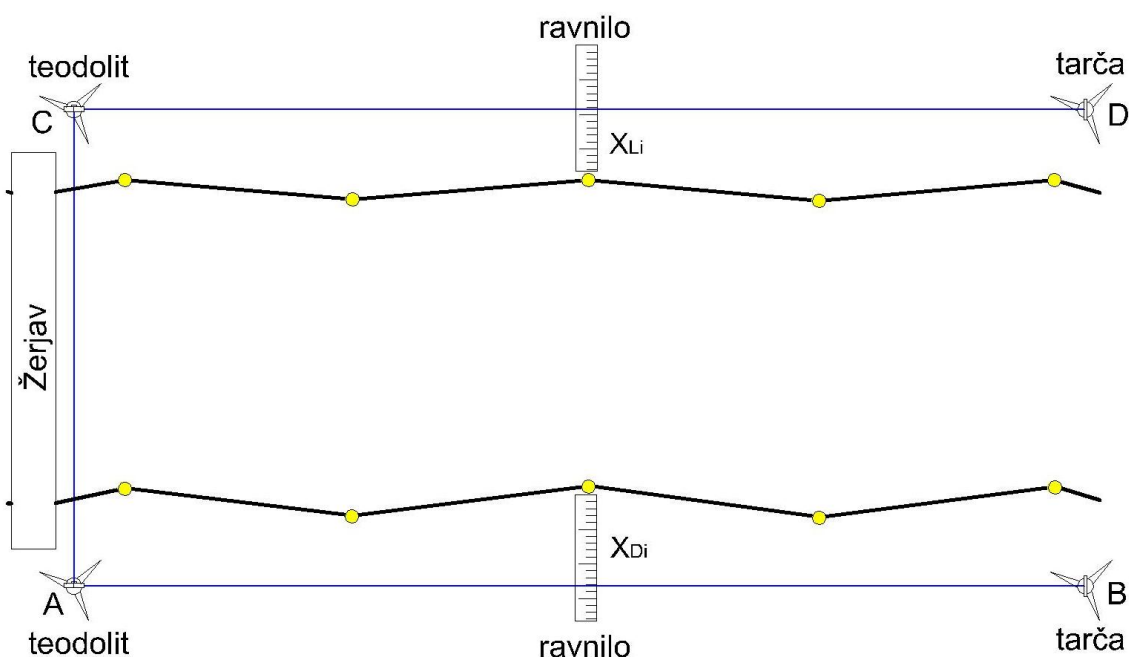
Alinman je metoda, s katero na ortogonalni način določimo horizontalni potek tirnic žerjavne proge. Princip merjenja je prikazan na sliki 4. Pred samo izvedbo meritev je potrebno določiti položaj referenčnih in kontrolnih točk. Referenčne točke definiramo ob tirnici, kontrolne točke pa na tirnici vzdolž žerjavne proge. Kontrolne točke služijo za določitev odklikov tirnice (X_{Di} in X_{Li}) od referenčne linije tirnice. Razdalje med kontrolnimi točkami izmerimo z merskim trakom, da definiramo stacionaže (Y_{Di} in Y_{Li}). Eno tirnico si izberemo za referenčno tirnico. Na njenem začetku določimo s pomočjo grezila in ravnila prvo referenčno točko (točka A). Na njenem koncu določimo drugo referenčno točko (točka B). Referenčni točki morata biti od tirnice odmaknjeni za enako vrednost. Precizno določeni referenčni točki definirata kolimacijsko os, ki je paralelna z referenčno linijo referenčne tirnice. Tretjo referenčno točko (točka C) vzpostavimo tako, da na prvi referenčni točki odmerimo pravi kot od kolimacijske osi referenčne tirnice proti smeri druge tirnice. Na tretji referenčni točki naviziramo prvo referenčno točko in odmerimo pravi kot v smeri vzdolž žerjavne proge ter signaliziramo četrto referenčno točko (točka D) na koncu druge tirnice. Vzpostavljena os med tretjo in četrto referenčno točko predstavlja kolimacijsko os druge tirnice, ki je paralelna s

kolimacijsko osjo referenčne tirnice. Kontrolne točke na drugi tirnici označimo tako, da so na isti stacionaži kot pri referenčni tirnici. Kolimacijske osi tirnic lahko vzpostavimo na notranji ali pa na zunanji strani tirnic [1], [16].



Slika 4: Princip alinmana

Za izvedbo meritev (Slika 5) uporabimo teodolit, tarčo ter posebno ravnilo z dozno libelo in milimetrsko razdelbo. S horizontiranim in centriranim teodolitom čitamo odčitke na ravnilu in tako določimo horizontalne odmike kontrolnih točk od kolimacijske osi. Odmike posamezne tirnice določimo iz obeh referenčnih točk, aritmetična sredina pa predstavlja končne vrednosti odmikov [1].



Slika 5: Horizontalna izmera s teodolitom in ravnilom

Višinski potek tirnic določimo z metodo geometričnega nivelmana, kjer višinske odmike tirnice določimo z niveliranjem s krajišča. Stojišče nivelirja je na eni izmed referenčnih točk. S pomočjo nivelmanskih lat niveliramo enake kontrolne točke kot pri alinmanu. Običajno so žerjavne proge daljših dimenzij, zato je priporočljivo, da zaradi vpliva pogreška glavnega pogoja niveliranje opravimo še iz stojišča na drugem koncu tirnice. Iz prvega stojišča niveliramo kontrolne točke do polovice tirnice, iz drugega stojišča pa ostalo polovico. Kolimacijska os nivelirja na prvem stojišču in kolimacijska os nivelirja na drugem stojišču nista na enaki višini, ne sovpadata, zato je potrebno najmanj eno kontrolno točko, ki smo jo nivelirali iz prvega stojišča, nivelirati tudi iz drugega stojišča. Ker niveliramo s krajišča, moramo uporabiti preizkušen nivelir.

Tako alinman kot tudi geometrični nivelman sta dokaj zahtevna, časovno potratna in ne zagotavljata nadštevilnih meritev. Pri alinmanu predstavlja problem zakoličba vzporednih linij zaradi ovir, vidljivosti in natančnosti zakoličbe pravega kota. Prav tako težavo predstavlja tudi ločljivost razdelbe in čitanje na ravnilu. Vedeti je treba, da na merjenje horizontalnih odmkov vpliva tudi bočna refrakcija. Pri niveliranju s krajišča ima na določitev višinskih odmkov največji vpliv pogrešek glavnega pogoja. Niveliranje žerjavnih prog zahteva večkrat dolge vizure, kar predstavlja oteženo čitanje na lati. Potrebno se je zavedati, da so stacionaže približne [15].

2.2 Klasična polarna metoda detajlne izmere

Metoda temelji na klasični polarni metodi detajlne izmere kontrolnih oziroma karakterističnih točk, kjer istočasno izmerimo horizontalni in vertikalni položaj tirnice. Točke na tirnici s tahimetrom poskušamo izmeriti iz enega stojišča, s čimer zagotovimo homogeno natančnost izmere in se izognemo pogreškom, ki bi nastali pri vzpostavitvi geodetske mreže. Karakteristične točke tirnice določimo posredno preko položaja posebne platforme L, ki omogoča enolično postavitve preciznih merskih prizem na tirnico. Izmerjene polarne koordinate transformiramo v desnosučni lokalni kartezični koordinatni sistem. Pri tovrstni metodi moramo zagotoviti naslednja dva pogoja [17]:

- uporaba dovolj natančnega tahimetra, ki zagotavlja kotno natančnost, boljšo od 1" in dolžinsko natančnost, boljšo od 1 mm in
- ciljna točka mora biti enolično signalizirana z natančnostjo, boljšo od 1 mm.

2.2.1 Izračun zahtevane natančnosti meritev

Kartezične koordinate posamezne točke izračunamo iz merjenih polarnih koordinat:

$$\begin{bmatrix} x \\ y \\ z \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \sin s \cdot \sin z \cdot d \\ \cos s \cdot \sin z \cdot d \\ \cos z \cdot d \end{bmatrix}, \quad (2)$$

kjer je:

s ... horizontalna smer,

z ... zenitna razdalja in

d ... poševna dolžina.

Natančnost točk izračunamo na podlagi zakona o prenosu varianc in kovarianc. Ob podani kovariančni matriki meritev Σ_{szd} izračunamo, kakšna je kovariančna matrika neznank Σ_{xyz} , oziroma kako se natančnost meritev prenese v neznanke:

$$\Sigma_{xyz} = \mathbf{J} \cdot \Sigma_{szd} \cdot \mathbf{J}^T. \quad (3)$$

Jacobijeva matrika \mathbf{J} je matrika parcialnih odvodov vseh neznank po vseh meritvah. Če je matrika \mathbf{J} invertibilna matrika, potem lahko postopek obrnemo in izračunamo zahtevano natančnost meritev:

$$\Sigma_{szd} = \mathbf{J}^{-1} \cdot \Sigma_{xyz} \cdot (\mathbf{J}^T)^{-1}. \quad (4)$$

Nas zanimajo predvsem koordinatne razlike. Razpon predstavlja razliko med x koordinatama, višinska razlika pa razliko med z koordinatama dveh točk, točke 1 in točke 2. Koordinatne razlike med dvema točkama na profilu izračunamo po naslednji enačbi:

$$\begin{bmatrix} \Delta x \\ \Delta y \\ \Delta z \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} x_2 \\ y_2 \\ z_2 \end{bmatrix} - \begin{bmatrix} x_1 \\ y_1 \\ z_1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \sin s_2 \cdot \sin z_2 \cdot d_2 - \sin s_1 \cdot \sin z_1 \cdot d_1 \\ \cos s_2 \cdot \sin z_2 \cdot d_2 - \cos s_1 \cdot \sin z_1 \cdot d_1 \\ \cos z_2 \cdot d_2 - \cos z_1 \cdot d_1 \end{bmatrix}. \quad (5)$$

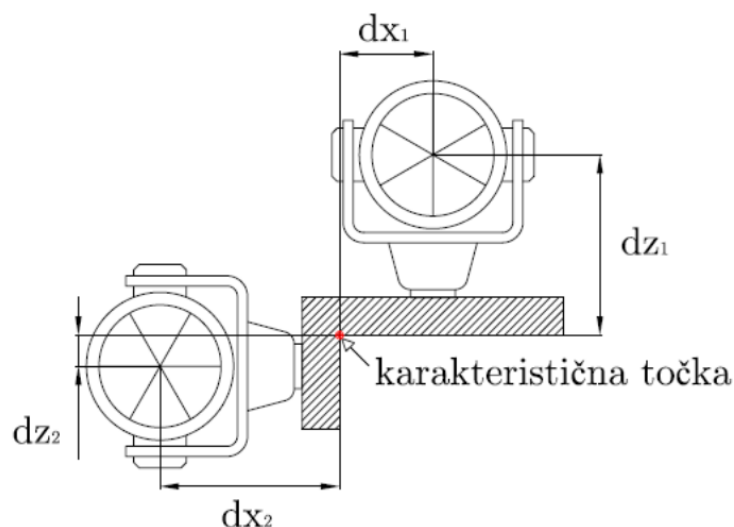
Pri računanju natančnosti iz enačbe (5) ugotovimo, da Jacobijeva matrika ni invertibilna, zato sistem enačb (5) dopolnimo s tremi dodatnimi enačbami, da matrika \mathbf{J} postane invertibilna.

Enačbe od (2) do (5) so povzete po [17].

Glede na zahtevano natančnost določitve koordinatnih razlik izračunamo potrebno natančnost meritev, ki je odvisna tudi od dolžine žerjavne proge. Z izračuni ugotovimo, da za določitev geometrije žerjavne proge potrebujemo tahimeter visoke natančnosti, ki ima kotno natančnost, boljšo od 1" in dolžinsko natančnost, boljšo od 1 mm [17].

2.2.2 Platforma L

Kontrolne točke signaliziramo s posebno platformo L (Slika 6), ki je sestavljena iz nosilca, na katerega sta pričvrščeni dve precizni prizmi. Nosilec je izdelan iz jeklenega profila debeline 2 cm v obliki črke L. Njegova kraka sta dolga 7 in 14 cm, širok pa je 6,5 cm. Peclja za precizni prizmi sta nameščena na obeh zunanjih ploskvah. Na robu nosilca se nahaja tudi dozna libela, s katero zagotovimo horizontalnost nosilca. Položaj karakteristične točke, ki predstavlja notranji zgornji rob glave tirnice, določimo z meritvami na obe precizni prizmi [17].



Slika 6: Platforma L z odmiki prizem od karakteristične točke [15]

Za določitev karakteristične točke na tirnici moramo pred začetkom merjenja določiti natančne dimenzije platforme L oziroma odmike središč obeh prizem od spodnje in notranje ploskve nosilca. Izračunamo koordinate karakteristične točke glede na zgornjo prizmo:

$$\begin{bmatrix} x_{KT1} \\ y_{KT1} \\ z_{KT1} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} x_1 - dx_1 \\ y_1 \\ z_1 - dz_1 \end{bmatrix} \quad (6)$$

ali glede na stransko prizmo:

$$\begin{bmatrix} x_{KT2} \\ y_{KT2} \\ z_{KT2} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} x_2 - dx_2 \\ y_2 \\ z_2 - dz_2 \end{bmatrix} \quad (7)$$

Izračun karakteristične točke na oba načina, z enačbo (6) in (7), zagotavlja kontrolo in natančnost ocene določitve karakteristične točke. Določamo elemente dx_1 , dz_1 , dx_2 in dz_2 , kjer indeks 1 pomeni

zgorjjo, indeks 2 pa stransko tarčo. Vrednosti elementov so naslednje: $dx_1 = 58,94$ mm, $dz_1 = 110,89$ mm, $dx_2 = 110,52$ mm in $dz_2 = 15,39$ mm. Natančnost določitve elementov znaša nekaj desetink milimetrov. Vrednosti elementov določimo pred prvo izmero in veljajo za vse nadaljne izmere [17].

Pred vsako izmero je potrebno rektificirati dozno libelo, vendar se v meritvah vseeno pojavi vpliv nehorizontalnosti platforme. Vpliv nehorizontalnosti zgornje prizme v horizontalni smeri izračunamo po enačbi:

$$\delta x_1 = \sin \alpha \cdot (dz_1 + dz_2) \quad (8)$$

in v vertikalni smeri po enačbi:

$$\delta z_1 = (1 - \cos \alpha) \cdot (dz_1 + dz_2). \quad (9)$$

Vpliv nehorizontalnosti stranske prizme v horizontalni smeri pa izračunamo z enačbo:

$$\delta x_2 = (1 - \cos \alpha) \cdot (dx_1 + dx_2) \quad (10)$$

in v vertikalni smeri z enačbo:

$$\delta z_2 = \sin \alpha \cdot (dx_1 + dx_2). \quad (11)$$

Dozna libela zagotavlja 10' natančnost. Glede na elemente platforme in natančnost libele izračunamo vrednosti nehorizontalnosti platforme: $\delta x_1 = 0,3673$ mm, $\delta z_1 = 0,0005$ mm, $\delta x_2 = 0,0007$ mm in $\delta z_2 = 0,4929$ mm. Ker sta vrednosti δz_1 in δx_2 zelo majhni, ju zanemarimo, medtem ko vrednosti δx_1 in δz_2 moramo upoštevati. Tako na podlagi geometrije platforme L uporabimo za določitev višinskih koordinat zgornjo prizmo, za določitev položajnih koordinat pa stransko prizmo. Za določitev karakteristične točke zato uporabljamo namesto enačb (6) in (7) naslednjo enačbo:

$$\begin{bmatrix} x_{KT} \\ y_{KT} \\ z_{KT} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} x_2 - dx_2 \\ \frac{(y_1 + y_2)}{2} \\ z_1 - dz_1 \end{bmatrix}. \quad (12)$$

Enačbe od (6) do (12) so povzete po [17].

2.2.3 Izračun natančnosti koordinat kontrolnih točk

Natančnost koordinat detajlnih točk lahko izračunamo na osnovi razlik dvakratnih meritev centra vsake prizme. Vsako prizmo merimo dvakrat, zato je vsaka točka določena z dvema položajema: $t_1 = [x_{t1}, y_{t1}, z_{t1}]$ in $t_2 = [x_{t2}, y_{t2}, z_{t2}]$. Položajno razliko med njima izračunamo z enačbo:

$$\delta t = t_2 - t_1 = [\delta x, \delta y, \delta z]. \quad (13)$$

Za vse merjene točke izračunamo razlike δt , na osnovi katerih lahko izračunamo parametre, ki opisujejo natančnost koordinat kontrolnih točk: povprečno vrednost razlik $\bar{\delta t}$, standardni odklon $\sigma_{\delta t}$ in največjo absolutno razliko $\max|\delta t|$.

Natančnost kontrolnih točk lahko izračunamo tudi na osnovi razlik dvojnih izračunov koordinat karakteristične točke. Koordinate karakterističnih točk izračunamo z enačbama (6) in (7). Dobimo dve različni rešitvi in na osnovi razlik med njima določimo natančnost x in z koordinat. Parametri, s katerimi lahko opišemo natančnost, so: povprečna vrednost razlik, standardni odklon in največja absolutna razlika.

Tretji način izračuna pa je na osnovi natančnosti koordinat centrov prizem z eliminacijo vpliva nehorizontalnosti:

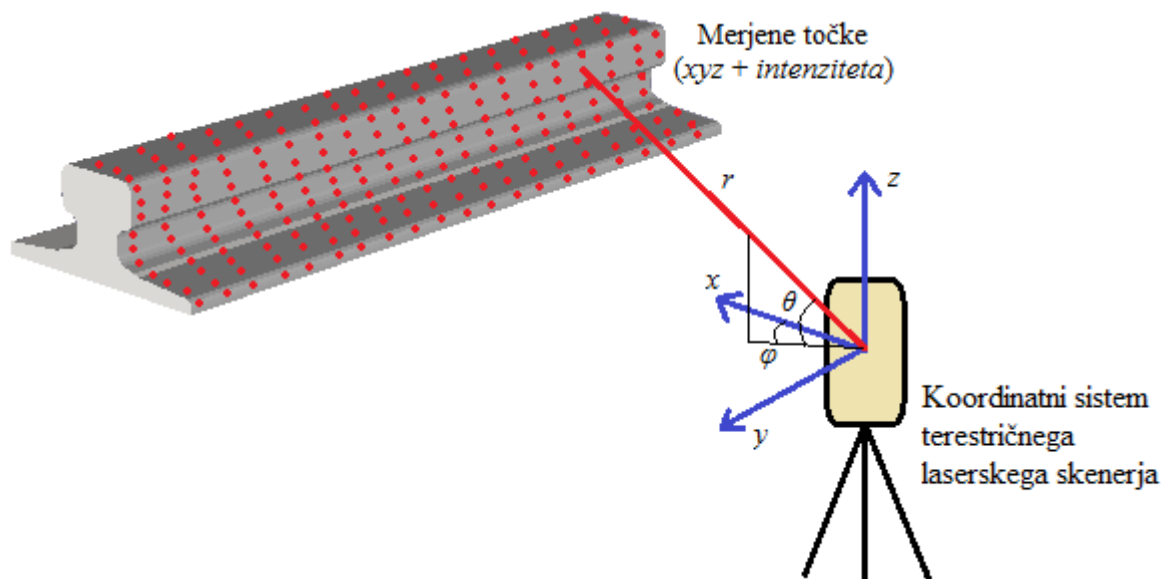
$$\begin{bmatrix} \sigma_{x_{KT}} \\ \sigma_{y_{KT}} \\ \sigma_{z_{KT}} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \sqrt{\sigma_x^2 + \sigma_{dx_2}^2} \\ \sqrt{\frac{1}{2}\sigma_y^2} \\ \sqrt{\sigma_z^2 + \sigma_{dz_1}^2} \end{bmatrix}. \quad (14)$$

Enačbi (13) in (14) sta povzeti po [17].

2.3 Terestrično lasersko skeniranje

Terestrični laserski skener je kompleksen merilni sistem, s katerim na brezkontakten in hiter način zajemamo 3D koordinate objekta in pridobimo oblak točk. Položaj točke na objektu je definiran na osnovi merjenja horizontalne smeri φ , vertikalnega kota θ in dolžine r med skenerjem in točko (Slika 7). Poleg dveh kotov in poševne dolžine je pomembna merska vrednost tudi intenziteta, ki predstavlja jakost odboja laserskega žarka in je relevantna pri prepoznavanju objekta iz oblaka točk. Položaj posamezne točke v oblaku točk je definiran s polarnimi koordinatami $(r_j, \varphi_j, \theta_j)$, vendar je njen položaj prikazan s pravokotnimi koordinatami (x_j, y_j, z_j) . Prehod iz polarnega v pravokotni koordinatni sistem je definiran z naslednjo enačbo [18]:

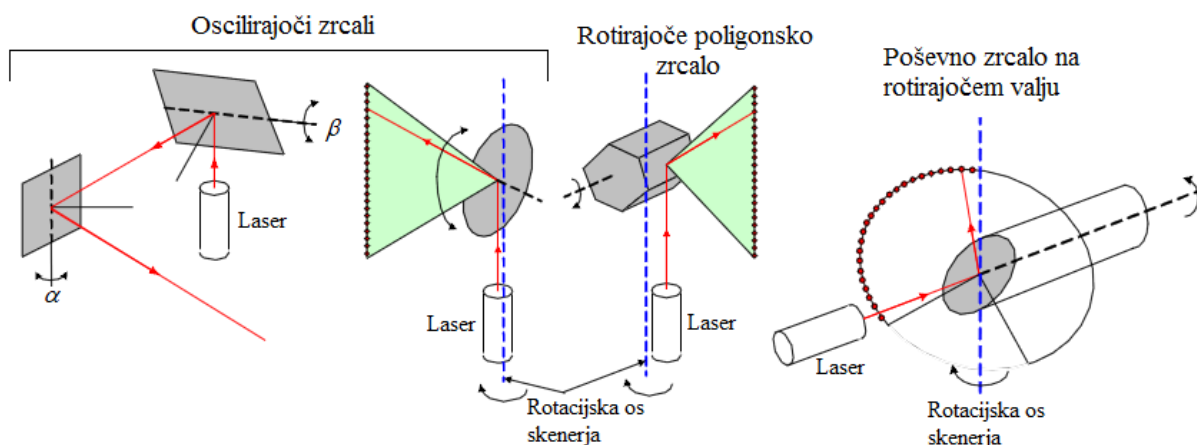
$$\begin{bmatrix} x_j \\ y_j \\ z_j \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} r_j \cos \varphi_j \cos \theta_j \\ r_j \sin \varphi_j \cos \theta_j \\ r_j \sin \theta_j \end{bmatrix}. \quad (15)$$



Slika 7: Princip terestričnega laserskega skeniranja

2.3.1 Odklanjanje laserskega žarka

Za merjenje horizontalnih smeri in vertikalnih kotov se uporablja sistem za odklon laserskega žarka. Sistem vsebuje eno ali dve zrcali in servomehanizem. Poznamo več načinov, kako zrcalo odklanja laserski žarek (Slika 8) [18].



Slika 8: Načini odklona laserskega žarka [18]

Sistem dveh oscilirajočih zrcal uporabljajo okenski skenerji oziroma skenerji, ki nimajo tahimetrične zasnove. Platforma instrumenta je ves čas merjenja mirujoča. Laserski žarek pade na dve oscilirajoči zrcali in se odklanja v horizontalni in vertikalni smeri. Eno zrcalo rotira okrog horizontalne in drugo zrcalo okrog vertikalne osi skenerja [18].

Laserski skenerji, zgrajeni iz enega zrcala, pogosto namesto ravnega zrcala uporabljajo zrcalo na rotirajočem se poligonu (prizmi) ali pa na rotirajočem valju. Rotirajoče poligonsko zrcalo uporabljajo hibridni skenerji, medtem ko je poševno zrcalo na rotirajočem valju vgrajeno pri sfernih skenerjih. Skenerji z enim zrcalom imajo tahimetrično zasnovano. Laserski žarek se odklanja v vertikalni smeri na osnovi rotiranja zrcala okrog horizontalne osi skenerja, medtem ko se v horizontalni smeri odklanja s pomočjo servomotorja, ki v majhnih korakih rotira glavo skenerja okrog njegove vertikalne osi. Skenerji z rotirajočim se poligonom delujejo po principu, da najprej na osnovi zrcala poskenirajo celoten vertikalni profil, nato glava skenerja za majhen korak rotira okrog vertikalne osi in poskenira se naslednji celotni vertikalni profil. Rotirajoči se poligon uporabljajo Rieglovi skenerji (uporabili smo ga v naši nalogi). Te vrste skenerji imajo horizontalno vidno polje 360°, medtem ko je vertikalno vidno polje omejeno. Sferni skenerji imajo vidno polje v horizontalni smeri 360° in prav tako tudi v vertikalni smeri, prazen prostor pod skenerjem s tovrstnimi skenerji ne moremo zajeti [18].

Na osnovi odklonov laserskega žarka poteka merjenje kotov, in sicer na enak način kot pri tahimetrih.

2.3.2 Merjenje dolžin

Dolžino med laserskim skenerjem in objektom lahko izmerimo na 3 načine, in sicer na:

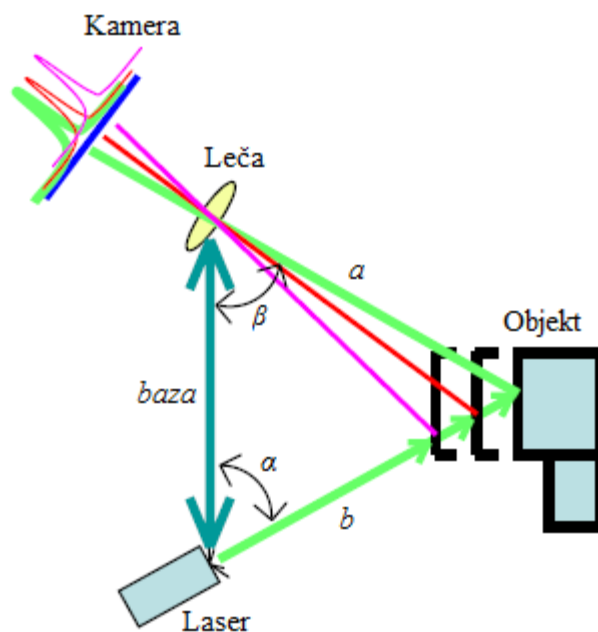
- triangulacijski način,
- impulzni način in
- fazni način.

2.3.2.1 Triangulacijski način

Triangulacijski skenerji za določitev dolžine med skenerjem in objektom uporabljajo princip triangulacije. Laserska dioda odda laserski žarek na objekt pod določenim kotom, CCD kamera pa nato zazna kot odbitega žarka. Iz slike 9 vidimo, da je ena stranica trikotnika *baza*, to je dolžina med laserjem in kamero, znana. Prav tako sta poznana kot pri laserju α in kot, ki ga zazna kamera β . Neznani stranici in s tem iskano dolžino med skenerjem in objektom določimo s sinusnim izrekom [19]:

$$\frac{a}{\sin \alpha} = \frac{b}{\sin \beta} = \frac{\text{baza}}{\sin \gamma}. \quad (16)$$

Baza med kamero in skenerjem ne sme biti prevelika. Natančnost določitve dolžine med skenerjem in objektom pada s kvadratom dolžine. Triangulacijski skenerji so primerni za merjenje manjših objektov na kratkih razdaljah (do 10 m) in zagotavljajo visoko natančnost skeniranja [19].



Slika 9: Triangulacijski način merjenja dolžine [20]

2.3.2.2 Impulzni način

Princip merjenja z impulznimi skenerji temelji na direktnem merjenju časa, ki ga svetlobni impulz potrebuje, da prepotuje razdaljo od skenerja do objekta in nazaj (Slika 10). Impulz v času Δt dvakrat prepotuje merjeno pot. Ob znani hitrosti svetlobe, dolžino med skenerjem in objektom izračunamo po naslednji enačbi [15]:

$$D = \frac{1}{2 \cdot n} c_0 \Delta t, \quad (17)$$

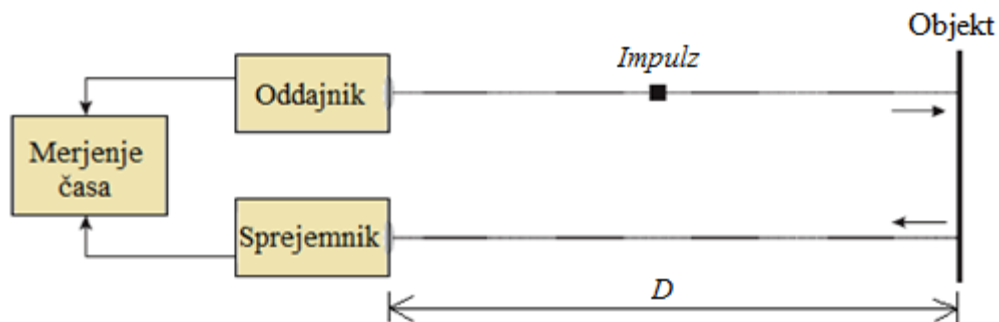
kjer je:

n ... lomni količnik,

c_0 ... svetlobna hitrost,

Δt ... merjeni čas.

Med potovanjem laserskega impulza se zmanjšuje njegova jakost, zato je pomembno, da ima oddani impulz veliko jakost. Večja kot je jakost oddanega laserskega impulza, večja bo tudi jakost odboja impulza in s tem bolj natančno izmerjen čas potovanja impulza. Velik vpliv na obliko impulza ima atmosfera, skozi katero potuje impulz [19]. Problem natančnosti izmere dolžine predstavlja izmera časa prihoda deformiranega impulza na sprejemnik. Prednost tovrstnih skenerjev je visoka natančnost pri razdaljah do nekaj sto metrov [20].



Slika 10: Impulzni način merjenja dolžine [15]

2.3.2.3 Fazni način

Fazni skenerji temeljijo na moduliranem elektromagnetnem valovanju, kjer združujemo nosilno in mersko valovanje. Najpogostejši modulaciji sta amplitudna in frekvenčna modulacija, uporablja pa se tudi fazna modulacija [21]. Osnovni princip faznega načina je določitev števila celih valov in fazne razlike med oddanim in sprejetim valovanjem (Slika 11). Valovno dolžino moduliranega valovanja, ki ga predstavimo s sinusoido, izračunamo po naslednji enačbi:

$$\lambda_M = \frac{c}{f_M}, \quad (18)$$

kjer sta:

c ... hitrost nosilnega svetlobnega valovanja,

f_M ... modulacijska frekvenca.

Laserski žarek prepotuje dvakratno dolžino od skenerja do objekta. Dolžino med skenerjem in objektom izračunamo z naslednjo enačbo:

$$D = N \frac{\lambda_M}{2} + \frac{\Delta\lambda_M}{2}, \quad (19)$$

kjer sta:

N ... število polovičnih valovnih dolžin,

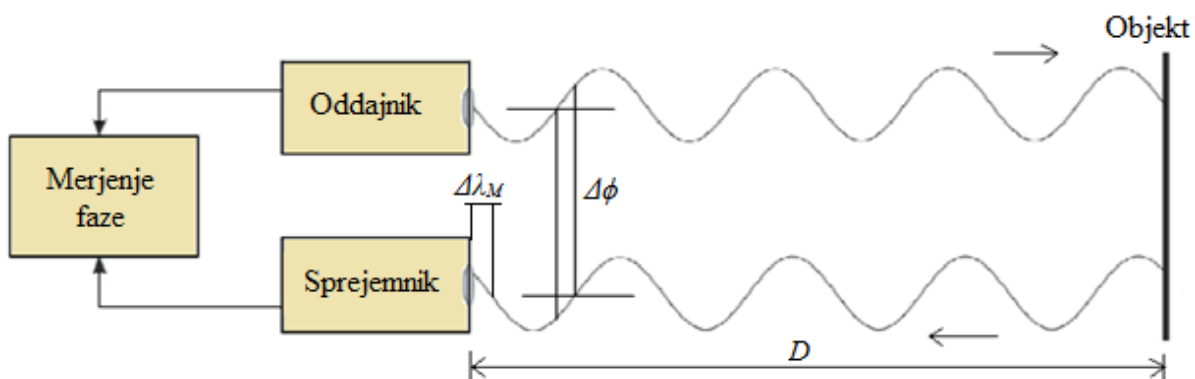
$\Delta\lambda_M$... del modulacijske valovne dolžine.

Del modulacijske valovne dolžine izračunamo na osnovi merjenja fazne razlike $\Delta\phi$ med merskim in referenčnim žarkom:

$$\Delta\lambda_M = \frac{\Delta\phi}{2\pi} \lambda_M. \quad (20)$$

Enačbe od (18) do (20) so povzete po [21].

Medtem ko pri impulznih skenerjih laserski žarek ni zvezen, ampak je sestavljen iz impulzov, je pri faznih skenerjih laserski žarek zvezen [19]. Fazni skenerji so hitrejši in bolj natančni kot impulzni skenerji, vendar imajo fazni skenerji manjši doseg.



Slika 11: Fazni način merjenja dolžine [15]

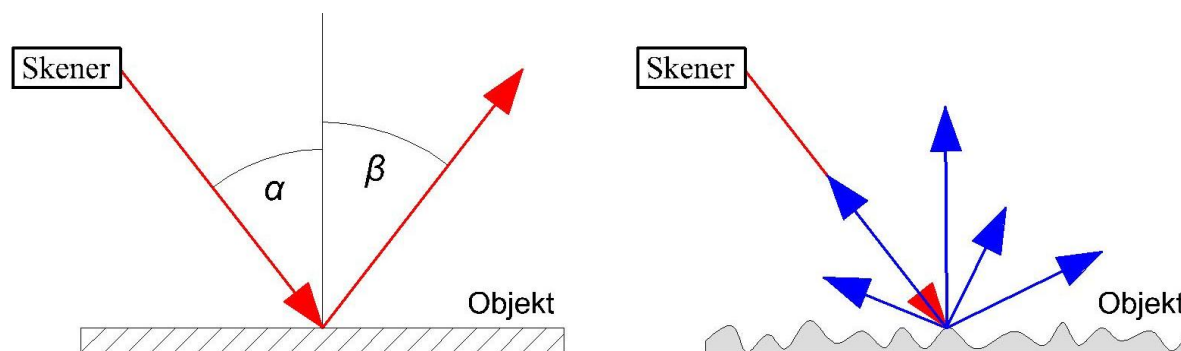
2.3.3 Izvori pogreškov

Skeniranje s terestričnim laserskim skenerjem je podvrženo številnim pogreškom, ki vplivajo na končno merjeno vrednost. Poleg pogreškov operaterja in instrumentalnih pogreškov imajo na lasersko skeniranje vpliv tudi pogreški delovnega okolja, ki so posledica predvsem brezkontaktnega načina merjenja. Pogreški operaterja se pri skeniranju izražajo predvsem pri nastavitvi kotne ločljivosti skeniranja in vzpostavitvi geometrije skeniranja. Atmosferski vplivi imajo na merjenje dolžin enak vpliv kot na klasične meritve s tahimetrom. Instrumentalne pogreške pri TLS delimo na tiste, ki so podobni tahimetričnim (adicijska konstanta, multiplikacijska konstanta, kolimacijski pogrešek, nehorizontalnost osi y , indeksni pogrešek) in empirične, ki so navadno sinusoidne oblike in so lahko različni za vsak tip instrumenta. Pogreški delovnega okolja so odvisni od lastnosti skeniranega objekta in imajo vpliv na obliko in jakost odbitega laserskega žarka. V naši nalogi na kakovost zajetega oblaka točk, poleg pogreškov, ki jih poznamo iz tahimetričnih meritev, v največji meri vplivajo pogreški, ki imajo izvor v:

- odbojni površini objekta,
- geometriji skeniranja in
- georeferenciranju.

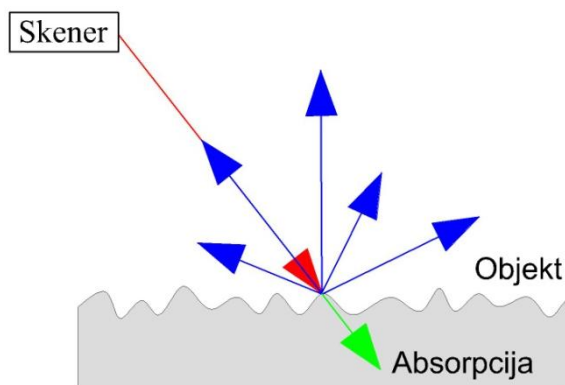
2.3.3.1 Odbojna površina objekta

Pomemben podatek v postopku skeniranja je jakost oziroma intenziteta odbitega signala. Moč odbitega signala je odvisna od kakovosti odbojnosti površine (Slika 12). Vpliv odbojne površine pa je odvisen od hrapavosti in gladkosti površine, od barve površine in od notranje strukture materiala. Vpadni kot skeniranja je kot med normalo objekta in laserskim žarkom. Zelo gladke površine, kadar je hrapavost manjša od valovne dolžine valovanja in vpadni kot skeniranja večji od 0° , ne odbijejo laserskega žarka nazaj proti skenerju. V tem primeru sta kot vpadnega žarka in kot odbitega žarka enaka ($\alpha = \beta$) [19]. Žarek se na površini idealno odbije in lahko zadane druge objekte (pojav večpotja), od katerih se žarek odbije nazaj na skener. Posledica tega je, da merjena dolžina ni prava, ampak neka druga dolžina in pojavi se šum oziroma tako imenovane pege [20]. Kadar pa je vpadni kot enak 0° , se žarek od svetleče površine v celoti odbije nazaj proti skenerju. Hrapave površine povzročijo difuzno refleksijo, kjer se svetloba odbije na vse strani in tako se tudi na skener vrne del žarka. Večja kot je hrapavost, več svetlobe se vrne na instrument. Poleg hrapavosti pa je reflektivnost odvisna tudi od barve skeniranega objekta. Temne barve imajo majhno reflektivnost, saj večino svetlobe absorbirajo, zato ima odbiti signal manjšo intenziteto. Na drugi strani pa imajo svetle površine veliko reflektivnost, kar zagotavlja večjo zanesljivost in natančnost skeniranja [20].



Slika 12: Levo: odboj od gladke površine; desno: odboj od hrapave površine

Vpliv na odboj laserskega žarka ima tudi struktura materiala, ki jo obravnavamo v povezavi z notranjo zgradbo skeniranega materiala. Laserski žarek pri stiku s površino objekta delno pronica v njegovo notranjost. Pride do pojava absorpcije (Slika 13). Velikost absorpcije je odvisna od globine prodora žarka v material in od smeri notranjih odbojev. Del žarka se lahko odbije znotraj materiala nazaj proti skenerju, vendar se posledično izmeri napačna dolžina. Prav tako se lahko izmeri napačna smer, saj se žarek pri prehodu v material zaradi refrakcije lomi, kar povzroči njegov zamik in žarek se ne vrne proti skenerju iz iste točke, kot je padel na odbojno površino. Posledica absorpcije je manjša intenziteta odbitega signala in posledično manjši doseg [15].

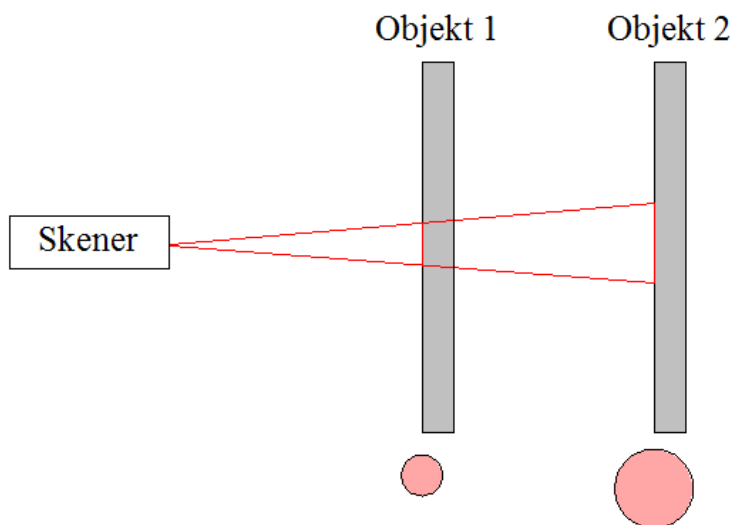


Slika 13: Pojav absorpcije

2.3.3.2 Geometrija skeniranja

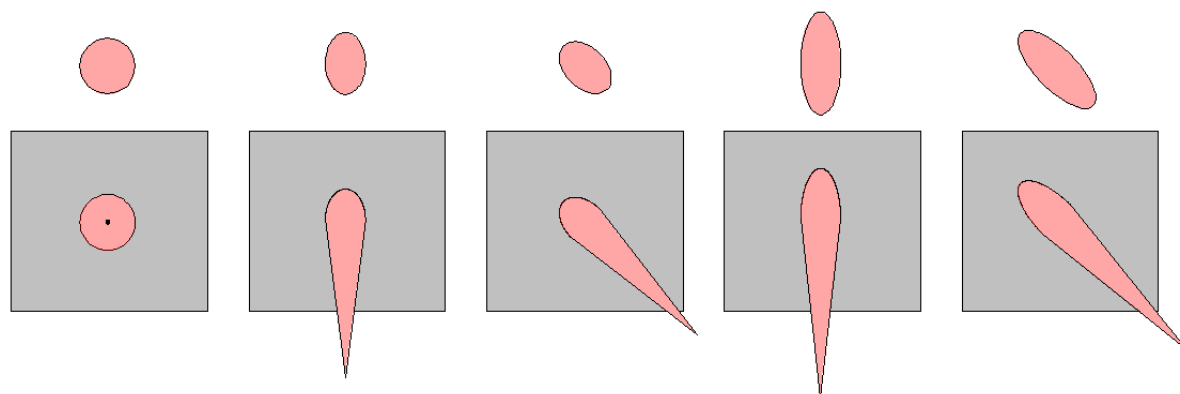
Žerjavne proge so običajno dolge in ozke, glava tirnice, katere ploskvi nas zanimata, pa je majhnih dimenzij, zato so geometrične povezave med skenerjem in površino odboja zelo pomembne. Pri planiranju terenske izmere moramo biti pozorni na orientacijo in obliko odbojne ploskve, na osnovi česar izberemo število in lokacijo stojišč ter kotno ločljivost.

Stojišče skenerja je od skeniranih površin objekta različno oddaljeno. Z večanjem oddaljenosti skenerja do objekta raste velikost odtisa laserskega žarka (Slika 14). Pri skeniranju z enakim skenerjem dveh podobnih objektov, ki sta pravokotna na skener, je premer laserskega odtisa na bolj oddaljenem objektu večji kot premer odtisa na bližnjem objektu. Manjši laserski odtis omogoča zajeti več detajla. Ločljivost laserskega odtisa je pomemben parameter pri določitvi maksimalne oddaljenosti med skenerjem in objektom [19].



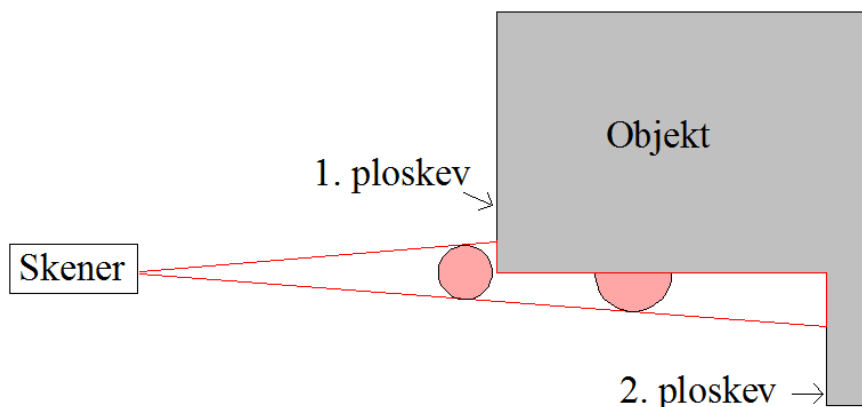
Slika 14: Velikost laserskega odtisa v odvisnosti od oddaljenosti skenerja od objekta

Na obliko laserskega odtisa in s tem na natančnost skeniranja vpliva tudi vpadni kot laserskega žarka. V primeru, da laserski žarek pade pravokotno na objekt, bo oblika laserskega odtisa enaka krogu, medtem ko se v nasprotnem primeru, ko laserski žarek pade na objekt pod določenim vpadnim kotom, oblika odtisa deformira v elipso (Slika 15). Os laserskega žarka in center elipse ne sovpadata in pride do zamika efektivne točke, zato so, v primeru skeniranja pod določenim vpadnim kotom, izmerjene dolžine predolge. Z večanjem vpadnega kota in posledično z vedno bolj sploščeno obliko odtisa (elipse), se manjša jakost odbitega signala in s tem tudi natančnost merjene točke [22].



Slika 15: Laserski odtis v odvisnosti od vpadnega kota skeniranja

Poseben primer imamo, ko laserski žarek zaradi divergencije žarka zajame dve ploskvi (Slika 16). Žarek zadane rob objekta, in se del žarka odbije od prve ploskve nazaj proti skenerju, medtem ko preostanek žarka nadaljuje pot in se odbije od naslednje ploskve, ali pa se ne odbije, če zadaj za prvo ploskvijo ni več nobene ploskve. Sprejemnik skenerja ne more prepoznati, kateri del žarka je pravi, zato je izmerjena dolžina enaka povprečju dolžin obeh delov žarka. Pogrešek izmerjene dolžine lahko znaša od milimetra do nekaj decimetrov. Rezultat skeniranja robov objekta so zaokrožitve, ki jih ni mogoče v celoti eliminirati. Vpliv teh pogreškov lahko precej zmanjšamo z izbiro skenerja, ki ima manjšo divergenco laserskega žarka [18]. Rieglov skener VZ-400, ki smo ga uporabili v naši nalogi, lahko zazna več odbojev enega žarka, obstajajo pa tudi full-wave skenerji, ki zabeležijo kar graf intenzitete odboja v odvisnosti od časa.



Slika 16: Odboj istega laserskega žarka od dveh ploskev

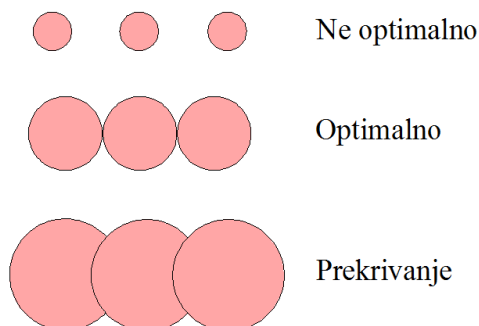
Od geometrije skeniranja je odvisna tudi izbira ustrezne velikosti kotnega rastra oziroma kotne ločljivosti. Kotna ločljivost določa število skeniranih točk v vertikalni in horizontalni smeri in jo definiramo s kotom med dvema zaporednima, oddanima laserskima žarkoma. Tako z ločljivostjo izberemo želeno gostoto točk v oblaku točk. Ločljivost izberemo na osnovi najmanjšega detajla, ki ga moramo zajeti. Višja kot je ločljivost, večja je gostota točk v oblaku točk in posledično dalj časa traja skeniranje. Potrebno se je zavedati, da ločljivost definiramo na določeni razdalji. Tako bodo imele skenirane točke na večji oddaljenosti od te določene razdalje nižjo ločljivost (manjša gostota točk) in točke na manjši oddaljenosti višjo ločljivost (večja gostota točk) [20]. Prav tako je ločljivost oziroma gostota točk odvisna od vpadnega kota (Slika 17). Pri večjem vpadnem kotu je gostota točk nižja in obratno.



Slika 17: Ločljivost in gostota točk v odvisnosti od oddaljenosti skenerja od objekta in od vpadnega kota

Z izbiro kotne ločljivosti definiramo razdalje med laserskimi odtisi (Slika 18). Z večanjem oddaljenosti objekta od skenerja se večja velikost odtisa in lahko v določenih primerih pride do

prekrivanja laserskih odtisov, zato je potrebno paziti, da izbrana ločljivost ni previsoka. Prekrivanje ni zaželeno, saj se pojavi šum. Če so razmiki med laserskimi odtisi preveliki, pride do ne optimalne situacije, zaradi česar ne zajamemo dovolj detajla. Najbolj optimalno je, da se odtisi dotikajo, saj s tem zajamemo ves detajl, vendar je časovno potratno [15].



Slika 18: Razmiki med laserskimi odtisi

S spreminjanjem oddaljenosti objekta od skenerja in vpadnim kotom se spreminja tudi ločljivost in s tem gostota zajetih točk. Ločljivost oziroma širino koraka rastra izberemo glede na želeno stopnjo izmere detajla. Ali bomo z izbrano ločljivostjo zajeli dovolj detajla skeniranega objekta, lahko izračunamo z naslednjo enačbo [20]:

$$Q = 1 - \left(\frac{m}{\lambda}\right), \quad (21)$$

kjer je:

Q ... odstotek zajetega detajla (kakovost podatkov),

m ... ločljivost in

λ ... velikost najmanjšega detajla.

2.3.3.3 Georeferenciranje

Pri kontrolnih meritvah žerjavne proge nas zanima relativen položaj tirnic, zato oblaka točk običajno ni potrebno georeferencirati v izbrani koordinatni sistem. Kljub temu smo v naši nalogi oblak točk ene žerjavne proge georeferencirali v lokalni koordinatni sistem, saj smo s tem zagotovili primerljivost metode TLS s klasično polarno metodo detajlne izmere. Georeferenciranje lahko izvedemo na indirektni ali direktni način. V naši nalogi smo uporabili direktni način, saj smo skenirali s tahimetrično zasnovanim skenerjem. Skener postavimo na dano točko, ga centriramo in horizontiramo ter orientiramo proti znani orientacijski točki. Natančnost direktnega georeferenciranja je, poleg natančnosti postavitve instrumenta in tarč, odvisna od natančnosti določitve koordinat danih točk. Pri direktnem načinu ni zahteve po prekrivanju oblakov točk in prav tako je ta način neodvisen od

konfiguracije znanih oziroma danih točk, zato je direkten način najbolj primeren pri merjenju dolžinskih objektov, kot je žerjavna proga. Indirekten način zagotavlja nekoliko boljšo natančnost, vendar pa ta način ni najbolj primeren za merjenje žerjavnih prog, saj zahteva ustrezno konfiguracijo oslonilnih točk in, pri indirektnem georeferenciranju v dveh korakih, tudi ustrezno razporeditev veznih točk, kar je pri skeniranju žerjavnih prog zelo težko zagotoviti.

Pri skeniranju žerjavne proge iz več stojišč je, kljub temu da žerjavne proge ni potrebno georeferencirati, potrebno izvesti registracijo oblaka točk v enoten koordinatni sistem. Poznamo več metod registracije, od izbrane metode pa je odvisna tudi natančnost registracije. V naši nalogi nismo izvedli postopka registracije. Na prvem delovišču smo izvedli direktno georeferenciranje, medtem ko smo na drugem delovišču skenirali samo iz enega stojišča, zato registracija ni bila potrebna in prav tako ne georeferenciranje, saj nas zanima samo relativen položaj tirnic.

3 ORODJA ZA IZRAČUN GEOMETRIJE TIRNIC IZ OBLAKA TOČK

Obstaja več metod, kako iz oblaka točk določiti parametre geometrije žerjavne proge. V nalogi smo oblak točk obdelali z različnimi orodji, na osnovi katerih smo lahko tirnico aproksimirali z ravninami in določili karakteristične linije oziroma karakteristične točke. V nadaljevanju so prikazana teoretična ozadja pomembnejših izbranih orodij.

3.1 RANSAC

Algoritem RANSAC, soglasje naključnega vzorca, je robustna metoda, ki se uporablja za ekstrakcijo različnih geometrijskih oblik in za oceno parametrov modela iz oblaka točk, ki vsebuje odstopajoče točke. RANSAC razdeli točke na pripadajoče točke (ang. inliers), na osnovi katerih algoritem oceni parametre modela, in na odstopajoče točke (ang. outliers), ki ne pripadajo modelu. V nasprotju z običajnimi tehnikami glajenja, ki temeljijo na čim več točkah, ki se potem izločajo, RANSAC najprej uporabi množico z najmanjšim možnim številom točk, ki jo nato povečuje z dodajanjem točk [23].

Potek algoritma lahko zapišemo v naslednjih korakih [23]:

1. iz oblaka točk poljubno izbere minimalno število točk, ki jih potrebujemo za določitev parametrov modela (3 točke v primeru ravnine),
2. izračuna parametre modela iz izbranih točk,
3. prešteje, koliko točk iz oblaka točk je od modela oddaljeno manj kot to dopušča toleranca,
4. če delež pripadajočih točk glede na število vseh točk v oblaku točk prekorači vnaprej določen prag, ponovno oceni parametre modela glede na vse prepoznane pripadajoče točke in konča postopek,
5. v nasprotnem primeru ponovi korake od 1 do 4 (največ N krat).

Ti koraki se ponavljajo iterativno, dokler algoritem ne poišče največje množice pripadajočih točk, ki najbolje opisujejo model. Število iteracij N moramo izbrati dovolj veliko, da z verjetnostjo p (običajno nastavljena na 0,99) lahko trdimo, da vsaj ena množica naključnega vzorca ne vsebuje odstopajoče točke. Naj u predstavlja verjetnost, da je vsaka izbrana točka, pripadajoča točka in $v = 1 - u$ verjetnost, da je izbrana točka odstopajoča točka. Število iteracij izračunamo na osnovi naslednje enačbe:

$$1 - p = (1 - u^m)^N, \quad (22)$$

kjer m pomeni minimalno število potrebnih točk za določitev modela. Enačbo (22) preoblikujemo in jo zapišemo v obliki:

$$N = \frac{\log(1-p)}{\log(1-(1-v)^m)}. \quad (23)$$

Enačbi (22) in (23) sta povzeti po [23].

RANSAC število točk, ki pripadajo modelu, določi po enačbi:

$$C = \sum_{i=1}^n \rho(e_i), \quad (24)$$

kjer je:

e_i ... pogrešek i -tega opazovanja,

$$\rho(e_i) = \begin{cases} 1 & e_i < t \\ 0 & e_i \geq t, \end{cases}$$

t ... toleranca in

n ... število točk v oblaku točk.

Pri izbiri prave tolerance t moramo biti previdni. Večja kot je toleranca, večje je število pripadajočih točk in obratno. Če je toleranca izbrana nepravilno, bo model določen s slabšo kakovostjo, saj algoritem ne bo poiskal takšne množice točk, ki najbolj optimalno definira iskano geometrijsko obliko.

V naši nalogi smo RANSAC uporabili za filtriranje oblaka točk, saj je ta algoritem priročno orodje za eliminacijo grobih pogreškov iz oblaka točk. Filtriran oblak točk, na osnovi algoritma RANSAC, pa nam služi kot vhodni podatek za izravnavo ravnine.

3.2 Izravnavo ravnine

Skozi filtriran oblak točk izravnamo ravnino po metodi najmanjših kvadratov na osnovi singularnega razcepa (SVD). Matriko $\mathbf{A} \in \mathbb{R}^{m \times n}$, $m \geq n$, razcepimo v produkt treh matrik, ki jih zapišemo v obliki:

$$\mathbf{A} = \mathbf{U}\mathbf{\Sigma}\mathbf{V}^T, \quad (25)$$

kjer sta $\mathbf{U} \in \mathbb{R}^{m \times m}$ in $\mathbf{V} \in \mathbb{R}^{n \times n}$ ortogonalni matriki in je $\mathbf{\Sigma} \in \mathbb{R}^{m \times n}$ diagonalna matrika oblike:

$$\mathbf{\Sigma} = \begin{bmatrix} \sigma_1 & & \\ & \ddots & \\ & & \sigma_n \end{bmatrix}, \quad (26)$$

kjer so $\sigma_1 \geq \sigma_2 \geq \dots \geq \sigma_n \geq 0$ singularne vrednosti \mathbf{A} . Stolpci $\mathbf{U} = [u_1 \dots u_m]$ so levi, $\mathbf{V} = [v_1 \dots v_n]$ pa desni singularni vektorji.

Enačbi (25) in (26) sta povzeti po [24].

Enačbo ravnine zapišemo kot:

$$ax + by + cz + d = 0. \quad (27)$$

Določiti moramo takšne koeficiente a, b, c, d , da bo vsota kvadratov ortogonalnih razdalj med točkami in izravnano ravnino minimalna. Minimiziramo naslednjo funkcijo:

$$f(a, b, c, d) = \sum_{i=1}^n \frac{(ax_i + by_i + cz_i + d)^2}{(a^2 + b^2 + c^2)}, \quad (28)$$

kjer je:

$$d = -(ax_0 + by_0 + cz_0). \quad (29)$$

Privzamemo, da je $a^2 + b^2 + c^2 = 1$ in preoblikujemo funkcijo $f(a, b, c, d)$ ter poiščemo minimum naslednje funkcije:

$$f(a, b, c) = \sum_{i=1}^n (a(x_i - x_0) + b(y_i - y_0) + c(z_i - z_0))^2, \quad (30)$$

kjer so:

(a, b, c) ... vektor normale,

(x_i, y_i, z_i) ... koordinate točk, ki predstavljajo oblak točk in

(x_0, y_0, z_0) ... koordinate centroida oblaka točk, točke na ravnini.

Matriko \mathbf{A} zapišemo kot:

$$\mathbf{A} = \begin{bmatrix} x_1 - x_0 & y_1 - y_0 & z_1 - z_0 \\ x_2 - x_0 & y_2 - y_0 & z_2 - z_0 \\ \vdots & \vdots & \vdots \\ x_n - x_0 & y_n - y_0 & z_n - z_0 \end{bmatrix}. \quad (31)$$

Enačbe od (28) do (31) so povzete po [25].

Z enačbo (25) razcepimo z razcepom SVD matriko \mathbf{A} , ki je dimenzije $m \times 3$. Matrika \mathbf{U} je dimenzije $m \times m$, medtem ko je matrika \mathbf{V} dimenzije 3×3 . Vektor za normalo ravnine se nahaja v matriki \mathbf{V} . Vektor, ki pripada najmanjši singularni vrednosti, predstavlja normalo ravnine, medtem ko vektorja, ki pripadata največjima singularnima vrednostma, napenjata izravnano ravnino. Natančnost izravnane ravnine izračunamo tako, da točke iz oblaka točk ortogonalno projiciramo na izravnano ravnino. Popravki r_i so enaki ortogonalni razdalji med točkami in izravnano ravnino:

$$r_i = (ax_i + by_i + cz_i + d). \quad (32)$$

Natančnost izravnane ravnine opišemo s cenilko σ_d , ki pomeni razpršenost točk okrog ravnine:

$$\sigma_d = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (r_i - \bar{r})^2}{n - 1}}. \quad (33)$$

3.3 Presečišče ravnin

Karakteristično linijo tirnice, ki predstavlja notranji zgornji rob glave tirnice, določimo s presekom dveh ravnin. Presek dveh ravnin je premica, na kateri ležijo točke, ki so skupne obema ravninama. Ravnini podamo z enačbama:

$$a_1x + b_1y + c_1z + d_1 = 0 \text{ in} \quad (34)$$

$$a_2x + b_2y + c_2z + d_2 = 0. \quad (35)$$

Presečišče teh dveh ravnin predstavlja premica, ki poteka skozi točko $A(x_0, y_0, z_0)$ in ima smerni vektor $\vec{s} = (f, g, h)$. Enačbo premice zapišemo v parametrični obliki:

$$\begin{aligned} x &= x_0 + ft \\ y &= y_0 + gt \\ z &= z_0 + ht. \end{aligned} \quad (36)$$

Smerni vektor premice izračunamo z vektorskim produktom normal obeh ravnin:

$$\vec{n}_1 \times \vec{n}_2 = \begin{vmatrix} f & g & h \\ a_1 & b_1 & c_1 \\ a_2 & b_2 & c_2 \end{vmatrix}. \quad (37)$$

Enačbe od (34) do (37) so povzete po [26].

Točko, skozi katero poteka premica, pa lahko določimo na več načinov. Na primer izberemo $x = 0$ ali $y = 0$ ali $z = 0$ in rešimo sistem enačb (34) in (35).

Tako določena premica predstavlja karakteristično linijo tirnice, ki vsebuje karakteristične točke, na osnovi katerih lahko določimo parametre geometrije žerjavne proge. Ustrezni karakteristični točki na levi in desni tirnici, med katerima računamo razpon in višinsko razliko, določimo s presekom karakteristične linije s premico, ki je pravokotna na simetralo obeh tirnic.

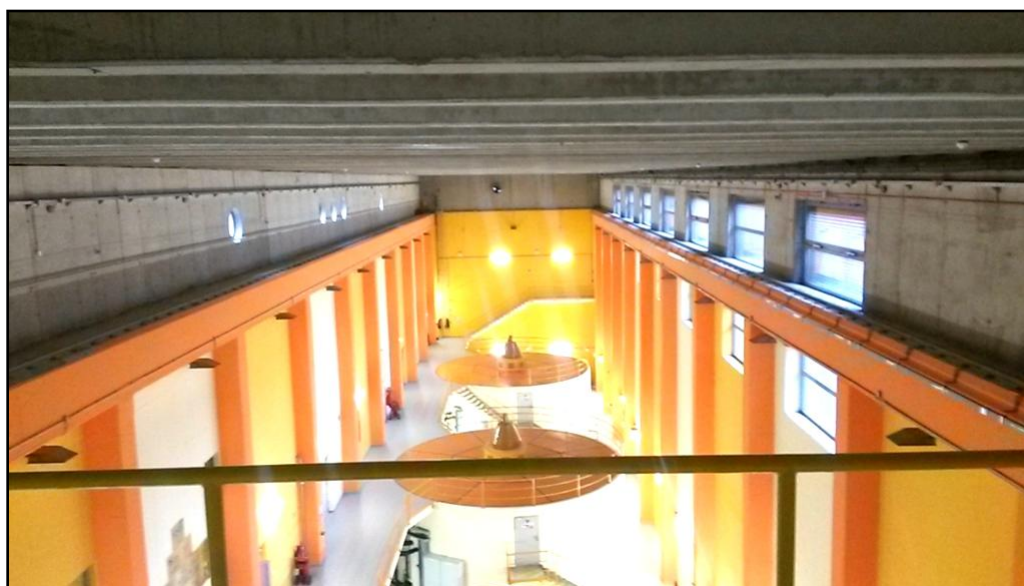
4 IZVEDBA MERITEV

Meritve smo opravili na dveh žerjavnih progah, ki se nahajata v hidroelektrarni Krško (HEK) in termoelektrarni Brestanica (TEB). Žerjavna proga v HEK nam je služila za testiranje prve hipoteze, žerjavna proga v TEB pa za testiranje druge in tretje hipoteze.

4.1 Izmera žerjavne proge v HEK

HEK predstavlja en člen v verigi hidroelektrarn na spodnji Savi. Je pretočno akumulacijskega tipa, z nameščenimi tremi vertikalnimi agregati in petimi prelivnimi polji. Nazivna moč elektrarne znaša 39,12 MW, nazivni pretok pa $500 \text{ m}^3/\text{s}$. Elektrarna na letni ravni proizvede približno 154 GWh [27].

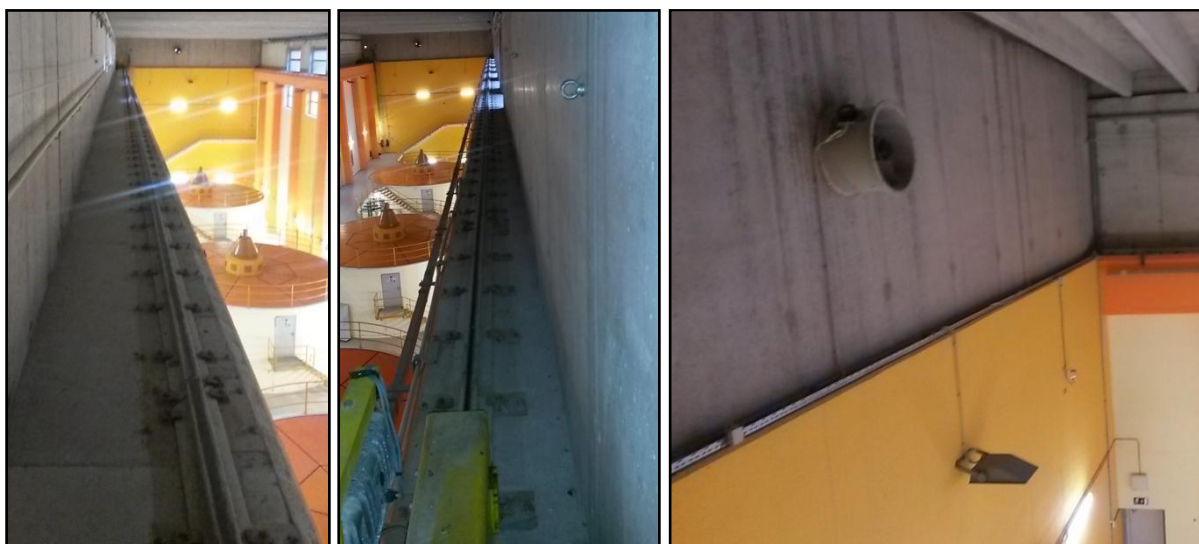
V hali strojnice HEK (Slika 19) sta vgrajena dva mostna žerjava, nameščena na žerjavni progi, ki služita za potrebe montaže elektro strojne opreme in za potrebe remontov ter popravil naprav. Višina žerjavne proge omogoča transport opreme večjih dimenzij, obračanje gredi in montažo oziroma demontažo celotne opreme v strojnici. Oba žerjava, tako glavni kot pomožni žerjav, pokrivata območje treh agregatov in montažne ploščadi. Vzdolž celotne strojnice in montažne ploščadi je na koti 170,00 m na betonsko konstrukcijo pritrjena žerjavna proga dolžine približno 73 m. Ob žerjavni progi je na gorvodni in dolvodni strani pohodni del, ki omogoča izvedbo meritev. Projektirani razpon med tirnicama žerjavne proge znaša 13,1000 m. Tip tirnice, glede na standard DIN 536 P1:1991, je A75, torej znaša širina zgornje ploskve glave tirnice 0,075 m [28].



Slika 19: Strojnica z žerjavno progo

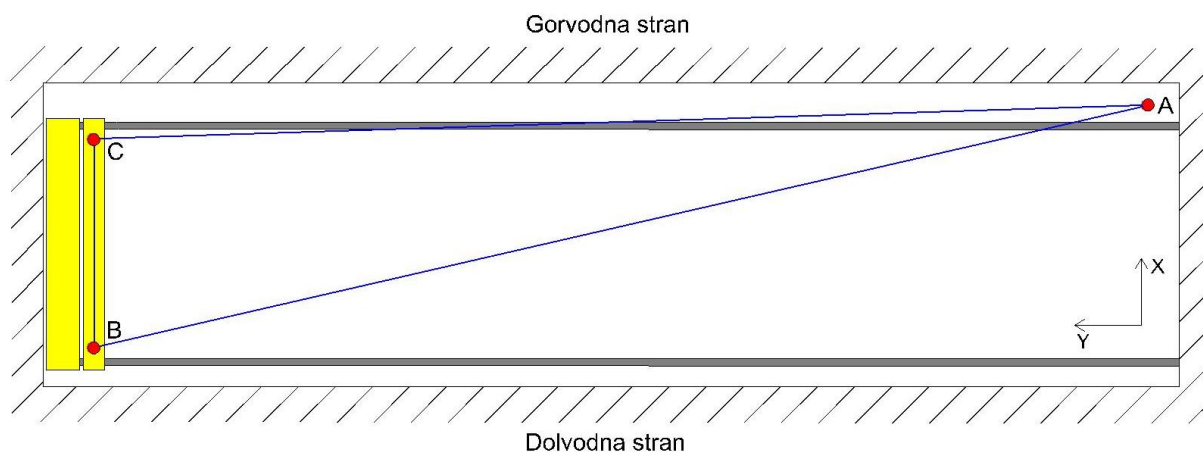
4.1.1 Vzpostavitev geodetske mreže

Z vzpostavitvijo geodetske mreže definiramo lokalni koordinatni sistem, s čimer zagotovimo ustrezno testiranje prve hipoteze, torej primerjavo med metodo TLS in klasično polarno metodo detaljne izmere s pomočjo platforme L. Pred izmero smo opravili rekognosciranje in določili najbolj optimalen položaj danih oziroma referenčnih točk, glede na možnosti, ki nam jih dopušča konstrukcija objekta. Žerjavna proga je vgrajena na takšnem mestu v hali, ki nam le na določenih mestih dovoljuje postavitev stativov in s tem izvedbo skeniranja, zato geometrija mreže in s tem geometrija skeniranja glede vpadnih kotov in razdalj nista optimalni. Skeniranje žerjavne proge je mogoče opraviti le ob tirnici na gorvodni strani in na mostnem žerjavu, medtem ko ob dolvodni tirnici in na koncu žerjavne proge ni mogoče postaviti stativa s skenerjem (Slika 20).



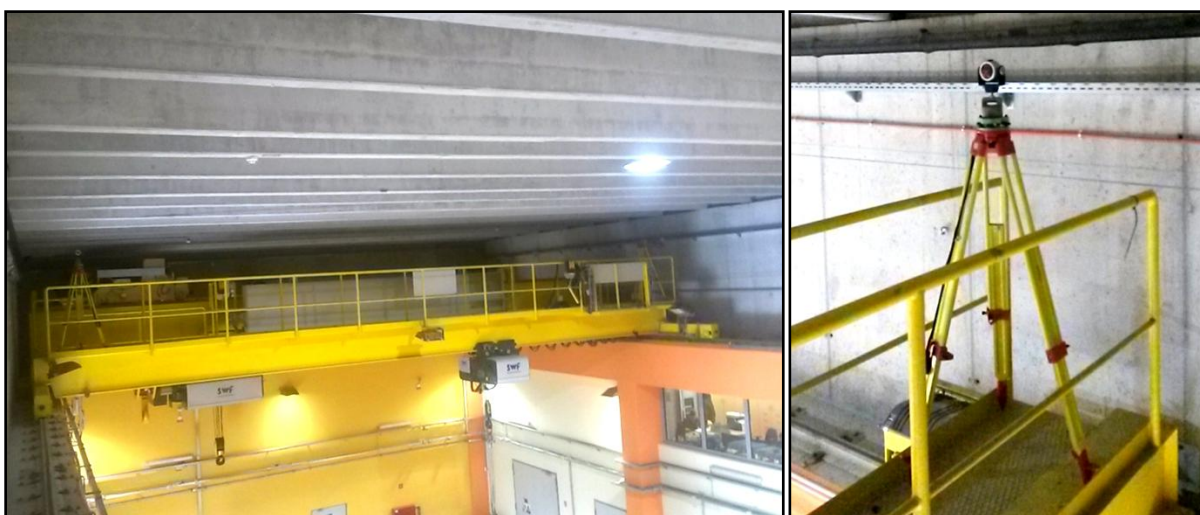
Slika 20: Levo: gorvodna tirnica; sredina: dolvodna tirnica; desno: konec žerjavne proge

Točke geodetske mreže smo razporedili tako, da je tirnica iz vsake točke vidna v celoti. Kljub temu da most žerjava ni najbolj stabilen, smo dve točki signalizirali na mostu, saj smo s tem omogočili postavitev skenerja med obe tirnici in na ustrezno višino, kar nam zagotavlja vidnost in s tem možnost skeniranja stranske notranje ploskve in zgornje ploskve glave tirnice, na osnovi katerih določimo geometrijo tirnice. Torej mrežo (Slika 21), ki ima obliko trikotnika, definirajo tri referenčne točke (A, B in C). Točki B in C sta definirani na mostu žerjava v oddaljenosti približno 1 m od tirnic proti notranjosti žerjavne proge, medtem ko je točka A signalizirana na nasprotni strani žerjavne proge ob gorvodni tirnici.



Slika 21: Skica geodetske mreže

Referenčne točke niso trajno stabilizirane, ampak smo jih le signalizirali s stativi in preciznimi reflektorji GPH1P (Slika 22), saj nas zanima le relativen položaj tirnic v koordinatnem sistemu instrumenta, ki ga kasneje, za potrebe izračunov, transformiramo v lokalni koordinatni sistem žerjavne proge. Triangulacijsko trilateracijsko mrežo smo izmerili z elektronskim tahimetrom Leica Geosystems TS30 R1000, katerega glavni tehnični podatki so predstavljeni v preglednici 2. Horizontalne smeri smo merili s sistemom avtomatskega viziranja po girusni metodi v sedmih girusih. Sočasno z merjenjem horizontalnih smeri smo merili tudi poševne dolžine in zenitne razdalje. Zenitne razdalje in dolžine smo merili obojestransko. Temperaturo, vlažnost in zračni tlak smo merili pri instrumentu na začetku meritev na posameznem stojišču.



Slika 22: Signalizacija referenčnih točk B in C na mostu žerjavnega

Preglednica 2: Glavne tehnične lastnosti instrumenta Leica Geosystems TS30 R1000 [17]

Instrument	
Območje delovanja	-20 °C do +50 °C
Ločljivost dozne libele	6' / 2 mm
Ločljivost elektronske libele	2"
Teodolit	
Najkrajša razdalja	1,7 m
Standardni odklon $\sigma_{ISO\ 17123-3}$	0,5"
Natančnost sistema ATR	1", 1 mm
Razdaljemer	
Referenčni pogoji: n_0, p_0, t_0	1,0002863; 1013,25 hPa; 12 °C
Doseg	3,5 km / 1 prizma; 5,4 km / 3 prizme
Standardni odklon $\sigma_{ISO\ 17123-4}$	0,6 mm; 1 ppm

Horizontalne položaje in višine vseh treh referenčnih točk (Preglednica 3) smo izračunali z izravnavo po metodi najmanjših kvadratov. Pred izravnavo je bilo potrebno reducirati poševno merjene dolžine in horizontalne smeri ter določiti višinske razlike med točkami. Izravnane položajne koordinate smo izračunali s programom GEM4 [29], kjer smo mrežo izravnali kot prosto mrežo, medtem ko smo izravnane višine izračunali s programom VIM [30]. Z vzpostavitev geodetske mreže lahko, na osnovi izravnanih koordinat, meritve, ki smo jih ločeno opravili z elektronskim tahimetrom in ločeno s terestričnim laserskim skenerjem umestimo v enoten koordinatni sistem, kar nam zagotavlja ustrezno primerljivost obeh metod izmere. Z vzpostavljeno geodetsko mrežo smo tudi zagotovili in omogočili direktno georeferenciranje oblakov točk v lokalni koordinatni sistem. Natančnost georeferenciranja je odvisna od natančnosti izravnanih koordinat referenčnih točk in znaša nekaj desetink milimetra.

Preglednica 3: Izravnane koordinate referenčnih točk s pripadajočimi natančnostmi v koordinatnem sistemu instrumenta

Točka	x [m]	y [m]	H [m]	σ_x [mm]	σ_y [mm]	σ_H [mm]
A	1010,4798	989,7332	100,5468	0,1	0,1	0,5
B	949,7709	1012,4671	101,2770	0,1	0,1	0,3
C	955,9898	1022,4994	101,3517	0,1	0,1	0,3

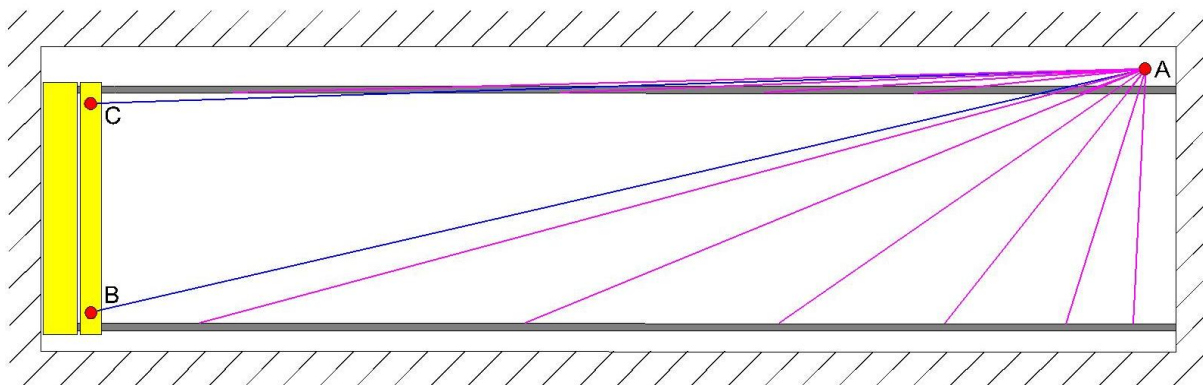
4.1.2 Klasična polarna metoda detajlne izmere

Za klasično polarno metodo detajlne izmere žerjavne proge smo uporabili elektronski tahimeter Leica Geosystems TS30 R1000, ki nam zagotavlja visoko natančnost izmere, in dve precizni prizmi Leica GPH1P, pritrjeni na rektificirano platformo L z dozno libelo (Slika 23).



Slika 23: Levo: signalizacija tirnice s platformo L; desno: stojišče instrumenta

Meritve smo izvedli iz enega stojišča in tako zagotovili homogeno natančnost izmere ter se izognili pogreškom, ki bi nastali, če bi merili iz več stojišč. Instrument smo stabilizirali s stativom na točki A in ga orientirali proti točkama B in C ter merili proti signaliziranim merskim točkam na tirnicah (Slika 24). Karakteristične točke na tirnici smo signalizirali s horizontirano platformo L, ki smo jo postavljali na označene profile na tirnici približno na vsakih 1,8 m. Na vsaki tirnici smo 35-krat položili platformo L, torej skupaj na obeh tirnicah 70-krat. Označeni točki, ki sta si nasprotni, na tirnicah predstavljata profil, torej imamo vzdolž tirnice 35 profilov. Točki istega profila, ki ležita na gorvodni in dolvodni tirnici, nimata nujno enake stacionaže, ampak razlika med stacionažama znaša do največ 0,544 m. Pri vsaki postavitvi platforme L smo s sistemom avtomatskega viziranja tarče do vsake od obeh tarč dvakrat izmerili razdaljo, horizontalno smer in zenitno razdaljo. Vsako točko smo izmerili štirikrat, skupaj 280 izmerjenih točk v polarnih koordinatah. Pri izračunih smo dvakratne meritve na vsako tarčo na vsaki postavitvi nosilca povprečili. Čas, ki smo ga porabili za meritve, je znašal 1 uro in 15 minut.



Slika 24: Skica klasične polarne metode detajlne izmere žerjavne proge

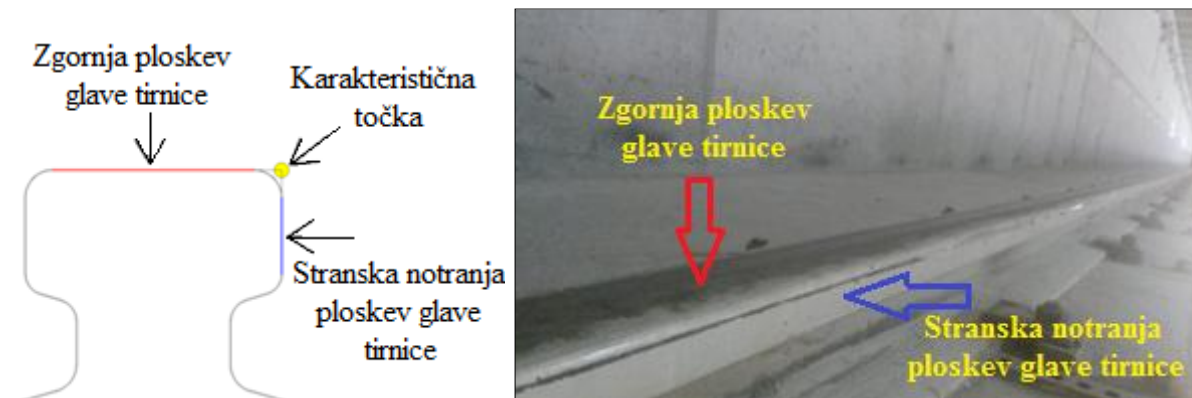
4.1.3 Terestrično lasersko skeniranje

Skeniranje tirnice smo izvedli na statičen način s tahimetrom Leica Nova MS50, ki združuje laserski skener hitrosti 1000 točk na sekundo, elektronski tahimeter, slikovno podporo in združljivost z Leicinimi sprejemniki GNSS. Osnovni tehnični podatki instrumenta so prikazani v preglednici 4. Potrebno je omeniti, da smo tirnici poskenirali v dolžini približno 62 m, in sicer od začetka pomožnega žerjava, ki se je nahajal na začetku žerjavne proge nad montažno ploščadjo, pa do konca žerjavne proge. Pod pomožnim in glavnim žerjavom nismo izvedli skeniranja, kakor tudi ne klasične polarne metode detajlne izmere, zato za ta del nismo določili parametrov geometrije tirnic. Dejansko tirnic nismo izmerili oziroma poskenirali čisto do konca žerjavne proge, do stene, ampak približno 2 m manj, saj to zaradi ovir (lestev, stativ na točki A) ni bilo mogoče. Prav tako tirnic nismo poskenirali od začetka pomožnega žerjava, ampak približno 0,5 m višje, saj to zaradi lokacije stojiščnih točk in omejitve vertikalnega območja zajema instrumenta ni bilo mogoče izvesti. S tem nismo zajeli dela tirnice, kjer se nahaja oziroma je označen zadnji profil žerjavne proge, ki ga merimo s klasično polarno metodo detajlne izmere. Pri obdelavi meritev smo, da bi zagotovili ustrezno primerljivost obeh metod izmere, zadnjo karakteristično točko na gorvodni tirnici in zadnjo karakteristično točko na dolvodni tirnici, ki smo ju izmerili s klasično polarno metodo detajlne izmere, izločili iz obdelave.

Preglednica 4: Glavne tehnične lastnosti instrumenta Leica Nova MS50 [31]

Merjenje kotov	
Natančnost Hz, V	1"
Merjenje razdalj	
Doseg na reflektor	od 1,5 m do 10000 m
Doseg brez reflektorja	od 1,5 m do 2000 m
Natančnost z reflektorjem	1 mm; 1,5 ppm
Natančnost brez reflektorja	2 mm; 2 ppm
Velikost pike laserskega žarka	8 mm × 20 mm na razdalji 50 m
Svetlobna dioda	koaksialno vgrajena ena dioda, vidni laserski žarek
Doseg ATR na okrogli reflektor GPR1	1000 m, sledenje reflektorja: 800 m
Kotna natančnost in trajanje meritve ATR na GPR1	1" / običajno 2,5 s
Skeniranje	
Hitrost / doseg / šum	1000 Hz / 300 m / 1,0 mm na razdalji 50 m 250 Hz / 400 m / 0,8 mm na razdalji 50 m 62 Hz / 500 m / 0,6 mm na razdalji 50 m 1 Hz / 1000 m / 0,6 mm na razdalji 50 m
Prikaz oblakov točk	vgrajen 3D pregledovalnik, obarvanje glede na jakost odboja žarka ali RGB
Hitrost vrtenja s piezo motornimi pogoni	180°/s
Slikovna podpora	
Vgrajeni kameri (ločljivost / frekvenca osveževanja)	5 MP CMOS slikovni senzor / 20 Hz
Lastnosti	samodejno fokusiranje, viziranje preko zaslona, digitalna skica na fotografiji

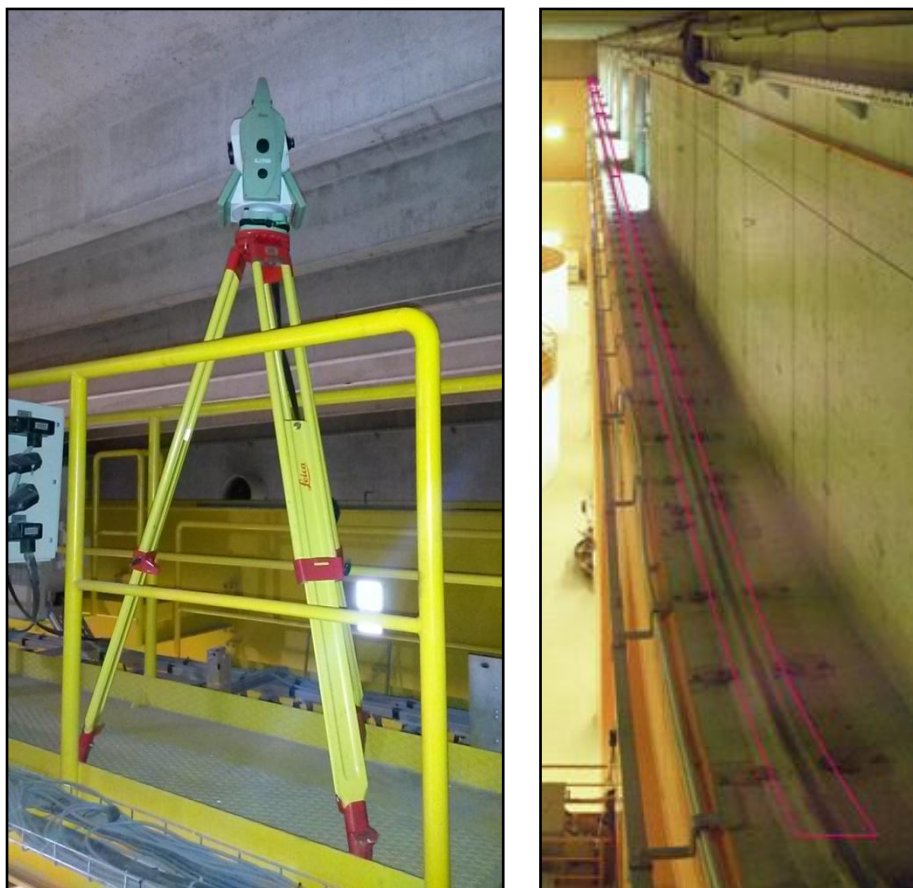
Vhodni podatek v program za izračun geometrije žerjavne proge so točke, ki predstavljajo zgornjo ploskev glave tirnice, in točke, ki predstavljajo stransko notranjo ploskev glave tirnice (Slika 25). Na osnovi teh dveh ploskev se določijo karakteristične linije oziroma karakteristične točke tirnice. Za zajem detajla, ki nas zanima (stranska notranja in zgornja ploskev glave tirnice), smo morali izbrati ustrezno stojišče skenerja, kar smo načrtovali že pri vzpostavitvi geodetske mreže, in ustrezno ločljivost skeniranja.



Slika 25: Ploskvi tirnice, ki ju je potrebno poskenirati

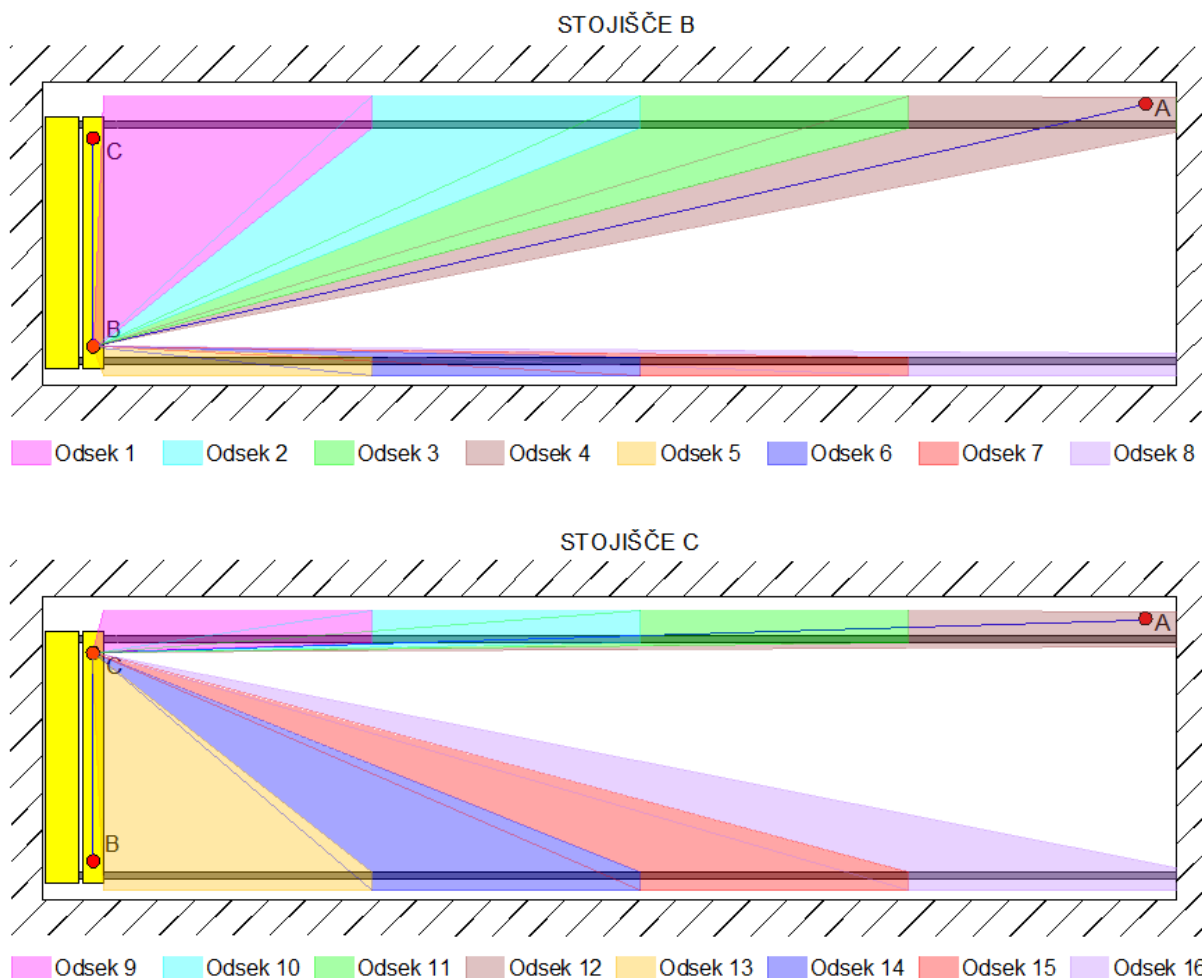
Skeniranje smo izvedli iz dveh stojišč, in sicer iz točke B in točke C. Najprej smo skenirali iz točke B, kjer smo tahimeter orientirali proti točkama A in C. S skeniranjem iz stojišča B smo dobro določili zgornjo ploskev glave dolvodne tirnice in stransko notranjo ploskev glave gorvodne tirnice. S tem smo ustrezno definirali dolvodno tirnico v višinskem smislu in gorvodno tirnico v položajnem smislu. Zgornja ploskev glave gorvodne tirnice in stranska notranja ploskev glave dolvodne tirnice sta bili iz stojišča B slabše določeni, saj je bila gostota točk zaradi geometrije skeniranja manjša. Točka B je bila od dolvodne tirnice oddaljena približno 1 m proti notranjosti žerjavne proge, kar nam je omogočilo, da smo lahko poskenirali tudi stransko notranjo ploskev glave dolvodne tirnice, vendar zaradi velikega vpadnega kota z nižjo ločljivostjo. S tem, ko smo točko B definirali na mostu žerjava, smo pridobili tudi ustrezno višino skeniranja, kar nam je omogočilo v ustrezni ločljivosti poskenirati zgornjo ploskev glave dolvodne tirnice. Prav tako smo z ustrezno višino tahimetra lahko poskenirali tudi zgornjo ploskev glave gorvodne tirnice, vendar v nižji ločljivosti zaradi večjega vpadnega kota laserskega žarka. Stranska notranja ploskev gorvodne tirnice je iz stojišča B poskenirana v visoki ločljivosti zaradi ustrezne geometrije skeniranja in s tem manjšega vpadnega kota laserskega žarka na to ploskev.

Pri skeniranju s stojišča C (Slika 26) smo instrument orientirali proti točkama A in B. Pri skeniranju iz tega stojišča smo dobro določili gorvodno tirnico po višini, potrebno za ugotavljanje višinskih razlik med tirnicama, in dolvodno tirnico po položaju, potrebno za ugotavljanje razponov med tirnicama. Zaradi ustrezne višine in tudi položaja stojišča instrumenta smo z visoko ločljivostjo (velika gostota točk) poskenirali zgornjo ploskev glave gorvodne tirnice. Prav tako nam je zaradi ustreznega položaja stojišča tahimetra uspelo z visoko ločljivostjo poskenirati stransko notranjo ploskev glave dolvodne tirnice. Točko B smo definirali na mostu žerjava 1 m od gorvodne tirnice proti notranjosti žerjavne proge, zato nam je uspelo v slabši ločljivosti poskenirati tudi stransko notranjo ploskev glave gorvodne tirnice. Zaradi ustrezne višine tahimetra smo lahko poskenirali tudi zgornjo ploskev glave dolvodne tirnice, vendar v slabši ločljivosti (manjša gostota točk).



Slika 26: Levo: Instrument Leica Nova MS50 na točki C med skeniranjem tirnice; desno: označitev območja skeniranja na zaslonu instrumenta

Širina zgornje ploskve glave tirnice znaša 75 mm, medtem ko širina stranske ploskve glave tirnice znaša približno 22 mm, zato je bilo potrebno poleg ustrezne geometrije skeniranja določiti tudi ustrezno kotno ločljivost skeniranja. Vzdolž tirnice smo skenirali z različno ločljivostjo. Tirnica je dolga in ozka, zato se ločljivost z oddaljevanjem tirnice od stojišča instrumenta niža. Z večanjem razdalje med instrumentom in tirnico in s tem vpadnega kota skeniranja se manjša gostota skeniranih točk. Da smo zagotovili čim bolj homogeno ločljivost oziroma gostoto točk vzdolž žerjavne proge, smo posamezno tirnico razdelili na odseke (Slika 27). Iz vsakega stojišča smo posamezno tirnico poskenirali v štirih odsekih, torej smo na enem stojišču poskenirali 8 odsekov, skupaj na obeh stojiščih pa 16 odsekov. Ločljivost skeniranja smo nastavili glede na razdaljo od instrumenta do začetka vsakega odseka. Proti koncu odseka se je gostota točk manjšala, zato smo pri naslednjem odseku na razdalji instrument – začetek novega odseka ponovno nastavili ustrezno ločljivost in nadaljevali s skeniranjem. S takšno logiko skeniranja smo poskenirali vseh 16 odsekov žerjavne proge. Območje skeniranja (Slika 26 desno) oziroma velikost odsekov smo definirali na zaslonu instrumenta približno enakih velikosti, kjer smo morali paziti, da smo označili tako zgornjo kot stransko ploskev glave tirnice.



Slika 27: Skica skeniranja po odsekih iz obeh stojišč

V preglednici 5 so prikazane izbrane horizontalne in vertikalne ločljivosti skeniranja, število zajetih točk na posameznem odseku in čas, ki smo ga potrebovali za zajem posameznega odseka. Ločljivosti smo izbirali poljubno, vendar tako, da smo zajeli dovolj detajla, ki nas zanima. Predvsem smo morali paziti, da smo stransko notranjo ploskev poskenirali z dovolj veliko gostoto točk, saj njena širina (vertikalna smer) znaša dobra 2 cm. Pri skeniranju gorvodne tirnice iz stojišča B smo zato nastavili vertikalno ločljivost dokaj visoko, višjo od horizontalne ločljivosti, s čimer smo poskušali zajeti čim več detajla stranske notranje ploskve. Ko pa smo skenirali dolvodno tirnico iz stojišča B, pa smo nastavili višjo horizontalno ločljivost, saj smo s tem dovolj detajlno po širini (horizontalna smer) zajeli njeno zgornjo ploskev. Med skeniranjem smo ugotovili, da sta lahko izbrani horizontalni in vertikalni ločljivosti nižji, kot smo sprva predvidevali in je gostota točk še vseeno dovolj velika in s tem zajetega dovolj detajla tirnice. Število zajetih točk na posameznem odseku vsebuje, poleg točk, ki pripadajo zgornji in stranski ploskvi, tudi točke, ki pripadajo vratu in nogi tirnice ter betonski konstrukciji, na kateri je montirana proga. Te točke v postopku obdelave oblaka točk filtriramo iz oblaka. Tako je število zajetih točk na posameznem odseku odvisno, poleg izbrane ločljivosti skeniranja, tudi od definiranja območja skeniranja, ki ga označimo na zaslonu tahimetra. Iz preglednice 5 vidimo, da

skupen čas skeniranja znaša dobro uro, vendar je potrebno k temu prišteti tudi čas, ki ga porabimo za zamenjavo stojišč elektronskeha tahimetra, za orientacijo in za označitev območja skeniranja. Ugotovimo, da je čas, potreben za izvedbo skeniranja, enakovreden času, ki smo ga potrebovali za klasično polarno metodo detajlne izmere. Omeniti moramo, da pri skeniranju iz več stojišč, ko je potrebno žerjavno progo umestiti v nek določen koordinatni sistem, potrebujemo geodetsko mrežo, zato moramo v čas, ki ga porabimo za skeniranje, všteti tudi čas, ki ga potrebujemo za razvoj geodetske mreže. Tudi v primeru, ko žerjavne proge ni potrebno umestiti v določen koordinatni sistem, moramo pri skeniranju iz več stojišč s tahimetrom Leica Nova MS 50, ki temelji na direktnem georeferenciranju, vzpostaviti geodetsko mrežo. Tako v takšnih primerih za skeniranje potrebujemo več časa, kot za klasično polarno metodo detajlne izmere, kjer ni potrebe po vzpostavitvi geodetske mreže.

Preglednica 5: Ločljivost skeniranja po posameznih odsekih

Odsek	Horizontalna ločljivost	Vertikalna ločljivost	Število zajetih točk	Čas skeniranja
Stojišče B				
1	0,0445 ^g	0,0089 ^g	120537	9 min
2	0,0207 ^g	0,0041 ^g	78849	6 min
3	0,0126 ^g	0,0025 ^g	41731	3 min
4	0,0113 ^g	0,0023 ^g	35585	3 min
5	0,0053 ^g	0,0400 ^g	185645	12 min
6	0,0053 ^g	0,0053 ^g	85311	3 min
7	0,0445 ^g	0,0445 ^g	46285	3 min
8	0,0106 ^g	0,0106 ^g	63406	3 min
Stojišče C				
9	0,0646 ^g	0,0129 ^g	83791	3 min
10	0,0192 ^g	0,0038 ^g	13382	1 min
11	0,0127 ^g	0,0025 ^g	12105	1 min
12	0,0285 ^g	0,0057 ^g	5592	1 min
13	0,0430 ^g	0,0086 ^g	66857	6 min
14	0,0273 ^g	0,0055 ^g	72238	6 min
15	0,0187 ^g	0,0037 ^g	55157	5 min
16	0,0110 ^g	0,0022 ^g	48617	3 min

4.2 Izmera žerjavne proge v TEB

TEB za elektroenergetski sistem Slovenije predstavlja zanesljiv rezervni vir napajanja v najbolj kritičnih trenutkih. Moč elektrarne s petimi plinskimi bloki znaša 297 MW, trije po 23 MW in dva po 114 MW. Plinski bloki lahko kot gorivo uporabljajo zemeljski plin, ekstra lahko kurilno olje ali pa mešanico obeh goriv [32].

Žerjavna proga, katere geometrijo smo ugotavljali, je montirana v hali dveh plinskih blokov PB4-5 (Slika 28). Žerjavna proga skupaj z električnim mostnim dvigalom pokriva celotno območje strojnice in je namenjena transportu različnih bremen. Dolžina proge, ki je pritrjena na jekleno konstrukcijo, znaša 55,4 m. Projektirani razpon med tirnicama žerjavne proge znaša 19,3000 m. Tirnica je zgrajena po standardu DIN 536 P1:1991 in je tipa A100, katere širina zgornje ploskve glave tirnice znaša 0,1 m.



Slika 28: Tirnici žerjavne proge na južni in severni strani strojnice

Tirnici žerjavne proge smo poskenirali na statičen način s terestričnim laserskim skenerjem RIEGL VZ-400, katerega glavni tehnični podatki so predstavljeni v preglednici 6. Skener VZ-400 na splošno ni horizontaliran. Horizontalnost skenerja je zagotovljena z inklinacijskimi senzorji, ki imajo natančnost $0,008^\circ$, kar lahko prinese na razponu 20 m nekaj manj kot 3 mm, kar je značilno manj od tolerance, zato lahko postopek naredimo brez oslonilnih tarč in vklopa.

Rieglov skener VZ-400 ima nekoliko drugačno zgradbo kot tahimeter Leica Nova MS50, ki temelji na tahimetrični zasnovi. Posledica tega je, da smo žerjavno progo v TEB skenirali na nekoliko drugačen način kot v HEK.

Preglednica 6: Glavne tehnične lastnosti terestričnega laserskega skenerja RIEGL VZ-400 [33]

Tip skenerja	hibridni
Presek + divergenca žarka	0,35 mrad
Način merjenja dolžin	impulzni
Točnost skeniranja	5 mm
Natančnost skeniranja	3 mm
Doseg	od 1,5 m do 600 m
Največja hitrost zajema	122000 točk/s
Odklon smeri	zrcalo na prizmi
Horizontalna kotna ločljivost	$0,0024^{\circ} \leq \Delta\varphi \leq 0,5^{\circ}$
Vertikalna kotna ločljivost	$0,0024^{\circ} \leq \Delta\theta \leq 0,288^{\circ}$
Horizontalno območje zajema	360°
Vertikalno območje zajema	100° (+60° / -40°)
Natančnost naklonomera	0,008°

Zaradi specifične konfiguracije objekta, ki nam dopušča postavitev skenerja le na mostu žerjava, smo skeniranje lahko izvedli le iz njega (Slika 29). Žerjav smo premaknili v položaj, da je bil na začetku žerjavne proge, saj smo tako lahko zajeli čim več tirnice. Stojišče skenerja smo določili približno na sredini med obema tirnicama oziroma nekoliko bližje severni tirnici, s čimer smo optimalno definirali položaj stojišča, glede na možnosti, ki nam jih nudi obravnavan objekt. Stojišče med obema tirnicama nam zagotavlja ustrezen zajem stranskih notranjih ploskev južne in severne tirnice, na osnovi katerih določimo položaj tirnic oziroma razpon žerjavne proge. Izbrana višina skenerja nam omogoča skeniranje zgornjih ploskev glav obeh tirnic s primerno gostoto točk, na osnovi česar lahko določimo višinsko razliko med tirnicama.

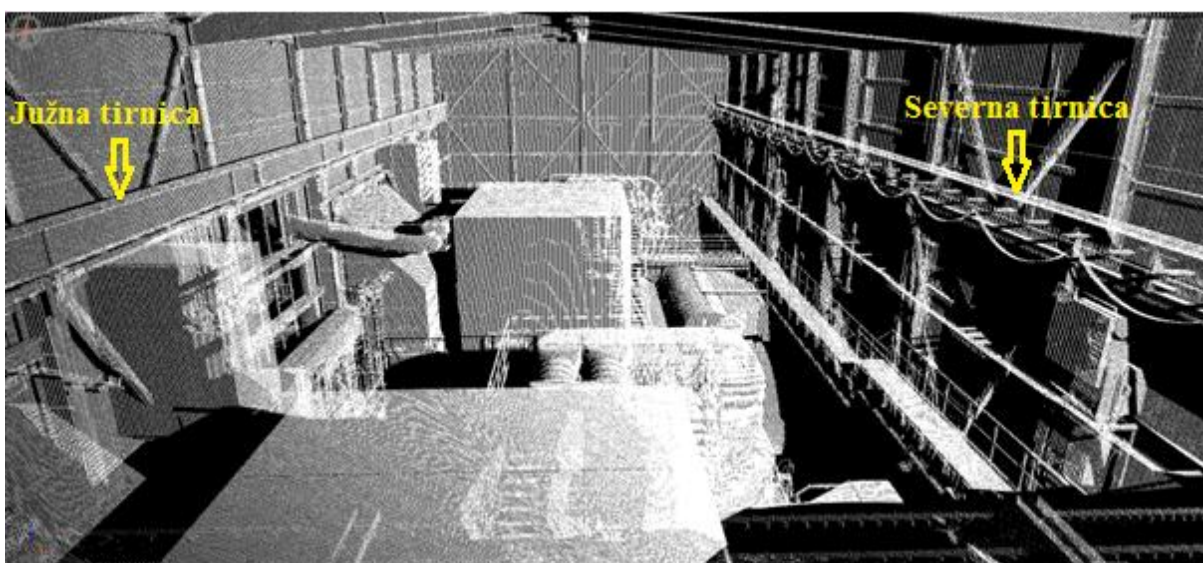


Slika 29: Terestrični laserski skener RIEGL VZ-400 povezan s prenosnim računalnik med skeniranjem



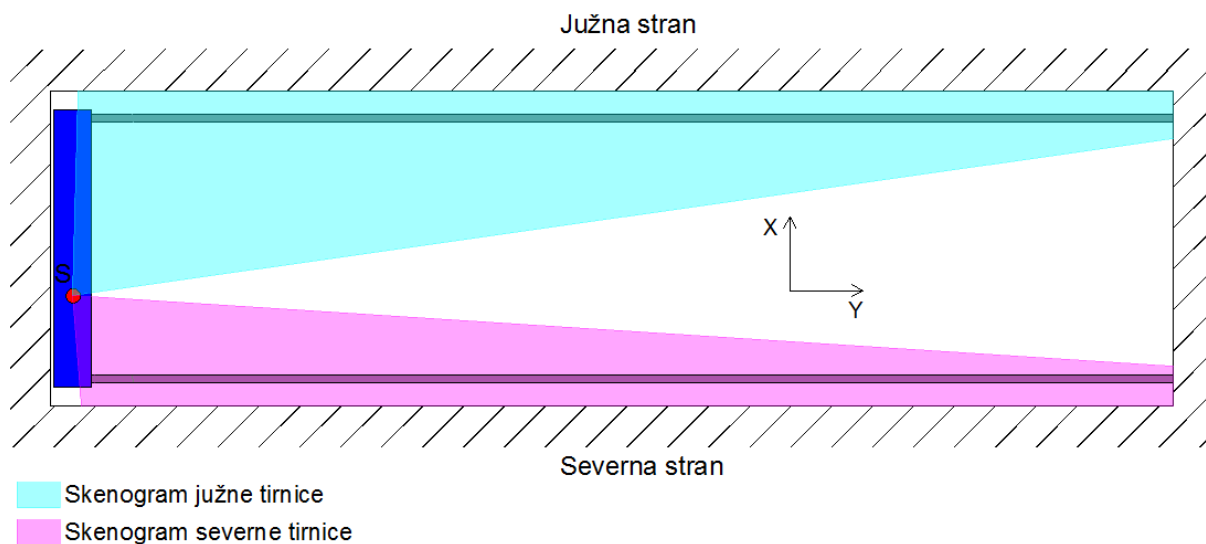
Slika 30: Severna tirnica

Skenirali smo iz enega stojišča, zato nismo izvedli registracije. Prav tako nismo izvedli georeferenciranja oblaka točk, saj ni bilo potreb in zahtev po umestitvi žerjavne proge v izbran koordinatni sistem. Ker ni bilo potreb po registraciji in georeferenciranju, na terenu nismo postavili tarč (veznih in oslonilnih točk). Skenograma južne in severne tirnice smo tako definirali v koordinatnem sistemu skenerja. Po vzpostavitvi povezave med skenerjem in prenosnim računalnikom smo najprej v nižji ločljivosti posneli celotno strojnico (Slika 31), za kar smo porabili približno 2 minuti.



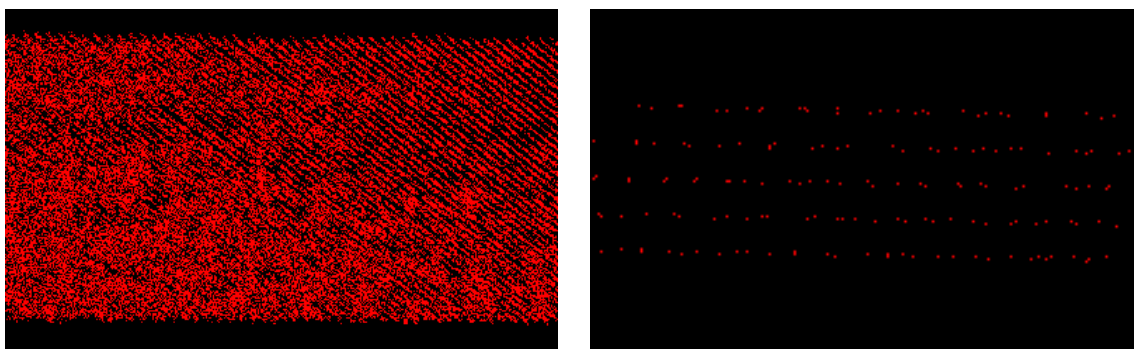
Slika 31: Oblak točk hale strojnice v nižji ločljivosti

Po preglednem skeniranju celotnega območja smo se lotili skeniranja z večjo gostoto točk najprej južne in nato še severne tirnice (Slika 32).



Slika 32: Skica skeniranja tirnic

Tirnice nismo razdelili na odseke, ampak smo celotno tirnico zajeli naenkrat, saj z Rieglovim skenerjem, ki ima nekoliko drugačno zgradbo (zrcalo na prizmi) od tahimetrično zasnovane Leice Nove MS50, dobimo dovolj enakomerno razporeditev oblaka točk vzdolž žerjavne proge. Geometrija skeniranja zaradi vpadnih kotov ni najbolj primerna, vendar za dane možnosti najbolj optimalna. Obe tirnici smo poskenirali s korakom rastra $2\text{ mm} \times 2\text{ mm}$ od začetka mostu žerjava do konca žerjavne proge. Dejansko nismo skenirali čisto od začetka žerjava, ampak 2 m višje, saj zaradi same postavitve skenerja in s tem omejitve vertikalnega območja zajema ni bilo mogoče zajeti tirnic čisto na začetku mostu. Pod samim žerjavom nismo skenirali, saj žerjava nismo premikali, zato nismo izmerili žerjavne proge v celotni dolžini, ampak v dolžini približno 47 m. Na začetku tirnice je gostota točk zelo velika, medtem ko je proti koncu žerjavne proge zaradi večjega vpadnega kota laserskega žarka na ploskev tirnice gostota vse manjša, vendar kljub temu dovolj velika za izračun geometrije tirnic (Slika 33).



Slika 33: Levo: gostota točk na začetku tirnice; desno: gostota točk na koncu tirnice

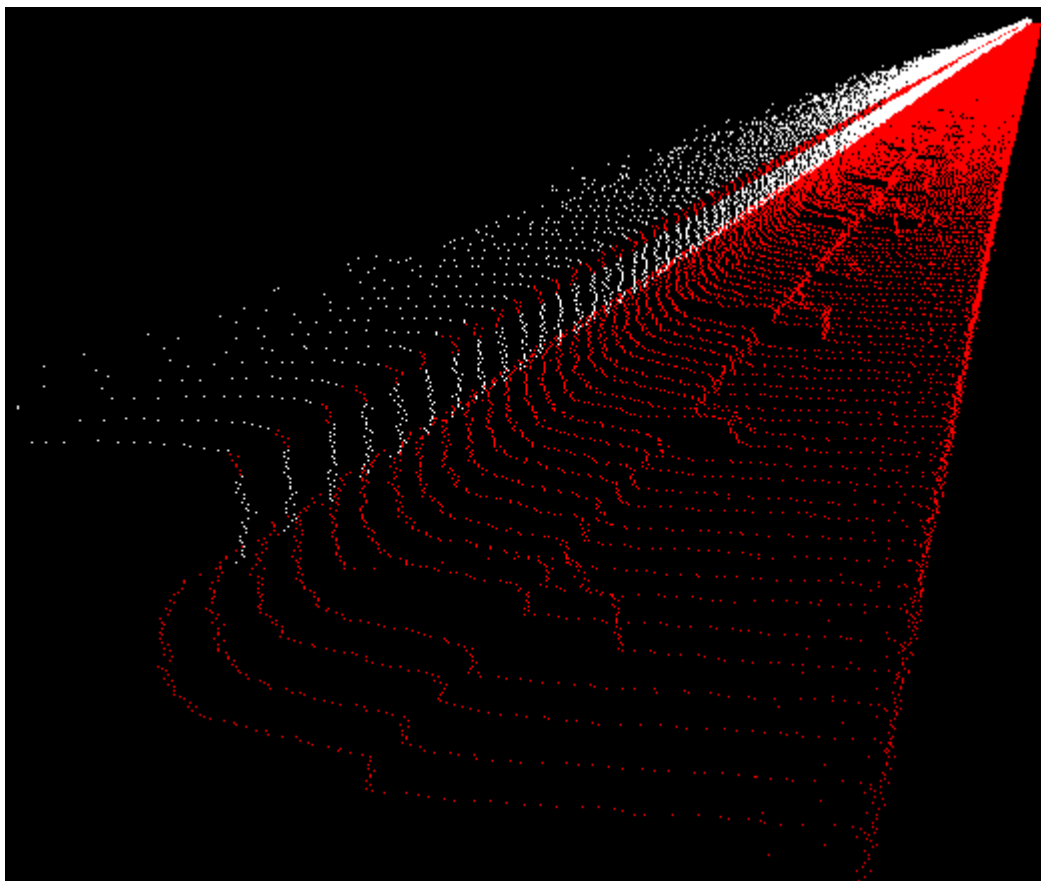
Pozorni moramo biti predvsem na gostoto točk stranske notranje ploskve tirnice, saj je širina te ploskve zgolj približno 25 mm, zato jo je proti koncu žerjavne proge, ko je ločljivost skeniranja vse nižja, težje prepoznati, vendar jo je bilo z izbrano ločljivostjo možno identificirati. Zgornja ploskev tirnice je širine 100 mm, zato jo z izbranim korakom rastra ni bilo težko prepoznati tudi na koncu žerjavne proge. Poleg detajla, ki nas zanima, to je zgornja in stranska notranja ploskev glave tirnice, smo kot rezultat skeniranja dobili tudi točke, ki pripadajo vratu in nogi tirnice ter jekleni konstrukciji ob tirnici. Te točke smo v procesu obdelave odstranili. Skupen čas skeniranja obeh tirnic je znašal 10 minut, kar je bistveno manj časa, kot smo ga porabili za skeniranje žerjavne proge v HEK.

5 OBDELAVA OBLAKA TOČK IN IZRAČUN

Parametre geometrije tirnic oziroma horizontalni in vertikalni potek obeh obravnavanih žerjavnih prog smo izračunali z lastno izdelanim računalniškim programom v programskem okolju Matlab. Postopek izračuna v programu temelji na dveh algoritmih in je za obe žerjavni progi enak, razlika je le v programski opremi za pripravo podatkov za izračun, saj smo žerjavni progi izmerili z različnima instrumentoma, ki zahtevata sebi pripadajočo ustrezno programsko opremo.

5.1 Priprava podatkov za izračun

Po končani izmeri je bilo potrebno meritve najprej pripraviti za georeferenciranje in ročno filtriranje oblaka točk, za njihovo nadaljnjo obdelavo in izračun geometrije tirnice v računalniškem programu. Najprej smo izravnali geodetsko mrežo žerjavne proge HEK in na izravnane koordinate referenčnih točk vklopili skeniran oblak točk. Združitev skenogramov iz obeh stojišč oziroma direktno georeferenciranje združenega oblaka točk smo izvedli v programski opremi Leica Infinity. Natančnost direktnega georeferenciranja je odvisna od natančnosti izravnanih koordinat in znaša nekaj desetink milimetra. Georeferenciran oblak točk žerjavne proge HEK smo nato ročno filtrirali v programski opremi Autodesk ReCap. Oblaka točk žerjavne proge TEB nismo georeferencirali, ampak smo ga v skenerjevem koordinatnem sistemu uvozili v programsko opremo RiSCAN PRO, ki je del sistema RIEGL VZ-400 in ga ročno filtrirali ter izvozili v projektnem koordinatnem sistemu (PRCS). Postopek ročnega filtriranja smo za obe žerjavni progi opravili na enak način, le v različni programski opremi. Ročno filtracijo smo izvedli v smislu grobega filtriranja, s katerim smo iz oblaka točk eliminirali točke, ki ne pripadajo zgornji ali stranski notranji ploskvi glave tirnice (Slika 34). Tako smo odstranili točke, ki pripadajo steni ob tirnici, konstrukciji, na kateri je pritrjena proga, ter točke, ki ležijo na nogi in vratu tirnice. Prav tako smo v postopku grobega filtriranja eliminirali tudi točke, ki ležijo na robu med zgornjo in stransko notranjo ploskvijo, saj rob ni oster, ampak zaobljen. Neodstranjene robne točke bi imele vpliv na parametre izravnane ravnine. Rezultat ročnega filtriranja tirnic HEK so točke, ki predstavljajo dve ploskvi, in sicer zgornjo in stransko notranjo ploskev glave gorvodne tirnice ter zgornjo in stransko notranjo ploskev glave dolvodne tirnice. Prav tako tudi pri filtriranju žerjavne proge TEB dobimo kot rezultat oblak točk štirih ploskev, ki predstavljajo južno in severno tirnico.



Slika 34: Rdeče točke označujejo točke, ki jih je potrebno ročno filtrirati iz skeniranega oblaka točk

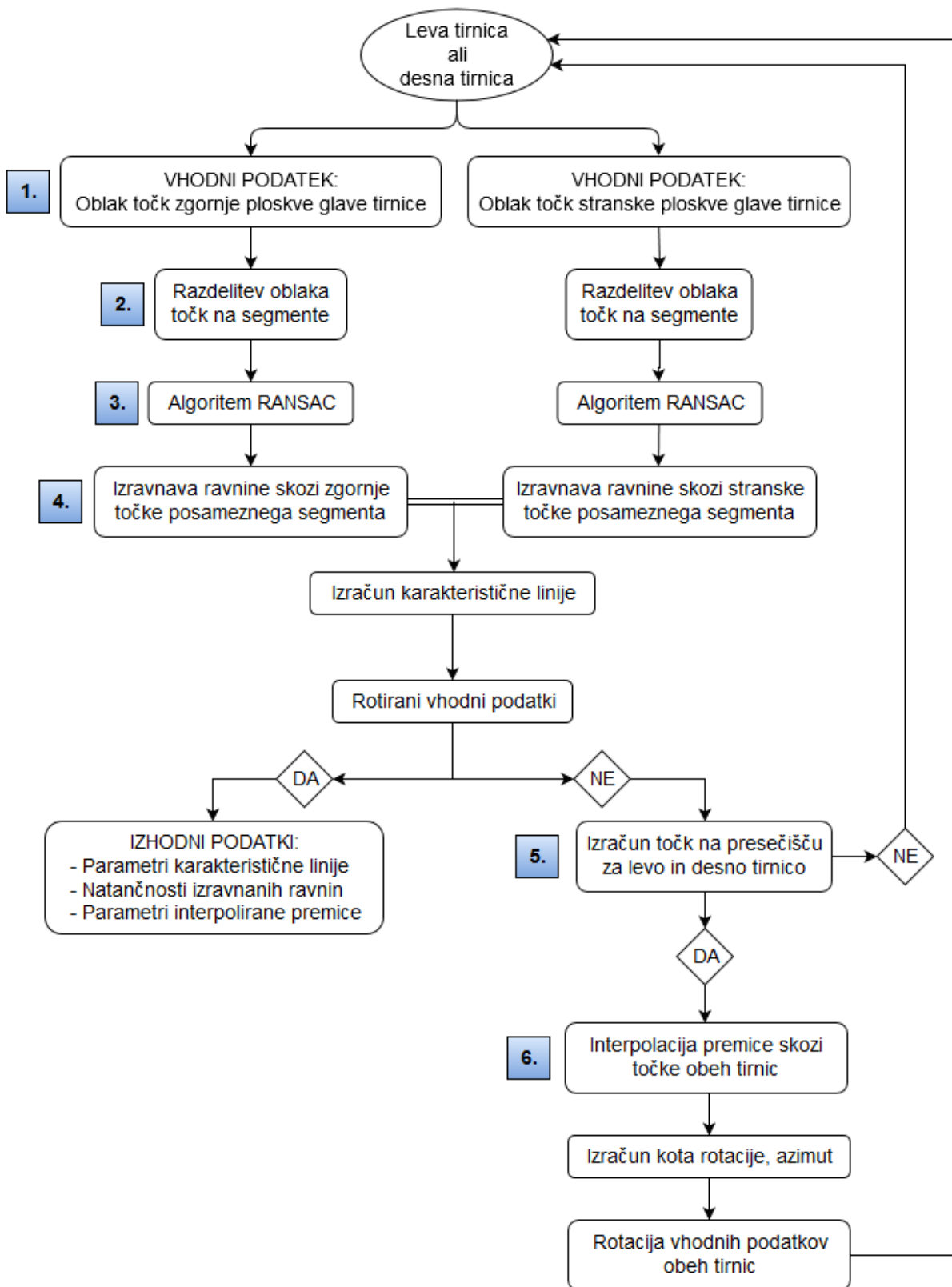
5.2 Definiranje koordinatnega sistema za opis žerjavne proge

Filtriran oblak točk je definiran v koordinatnem sistemu instrumenta, ki ga je potrebno transformirati v lokalni koordinatni sistem žerjavne proge, s čimer omogočimo razdelitev tirnice na segmente ustreznih oziroma pravih dolžin. Koordinatni sistem obeh žerjavnih prog definiramo na naslednji način:

- enota je meter,
- os z je vzporedna s težiščnico in kaže navzgor,
- os y je vzporedna povprečni smeri obeh tirnic,
- os x dopolnjuje sistem v desnosučnega, torej je pravokotna na povprečno smer obeh tirnic in
- izhodišče koordinatnega sistema je izbrano poljubno, vendar tako, da so koordinate vseh točk pozitivne.

Koordinatni sistem instrumenta transformiramo v koordinatni sistem žerjavne proge z rotacijo okrog z osi. Osi z obeh koordinatnih sistemov sovpadata. Kot rotacije je enak azimutu povprečne smeri žerjavne proge. Na enak način kot definiramo koordinatni sistem žerjavne proge HEK v primeru skeniranja, ga definiramo tudi v primeru klasične polarne metode detajlne izmere, saj le tako zagotovimo primerljivost obeh metod izmere v HEK.

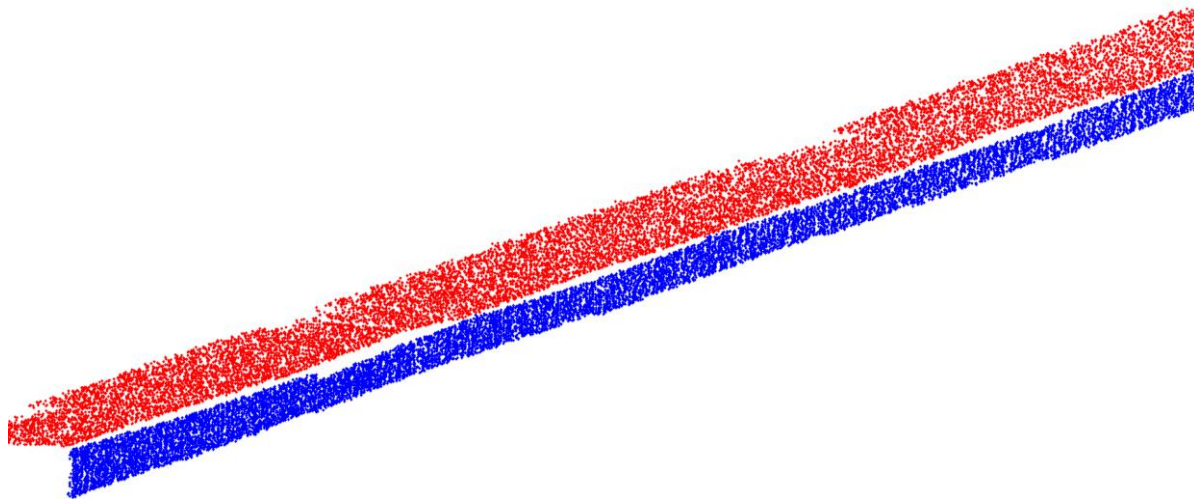
5.3 Algoritem za določitev karakterističnih linij tirnic



Slika 35: Algoritem za izračun karakterističnih linij tirnic

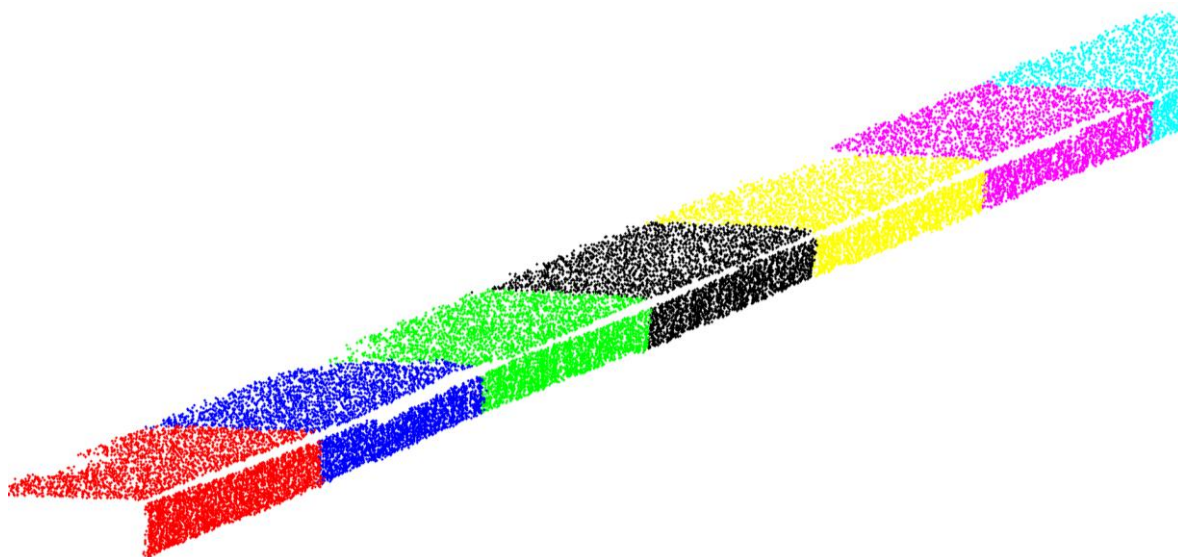
Na sliki 35 je prikazan shematski prikaz algoritma, na osnovi katerega iz filtriranega oblaka točk določimo karakteristične linije, ki nam služijo kot osnova za določitev parametrov geometrije žerjavne proge. Algoritem, ki je enak tako za žerjavno progo HEK kot za žerjavno progo TEB, deluje v dveh iteracijah. V prvi iteraciji obdelujemo oblak točk tirnic v koordinatnem sistemu instrumenta, v drugi iteraciji pa v koordinatnem sistemu žerjavne proge. Delovanje algoritma lahko predstavimo v šestih korakih.

V prvem koraku si za vhodni podatek najprej izberemo eno tirnico žerjavne proge v koordinatnem sistemu instrumenta. V program ločeno vnesemo oblak točk, ki pripada zgornji ploskvi glave tirnice, in oblak točk, ki pripada stranski notranji ploskvi glave tirnice. Na sliki 36 sta ta dva oblaka točk prikazana skupaj.



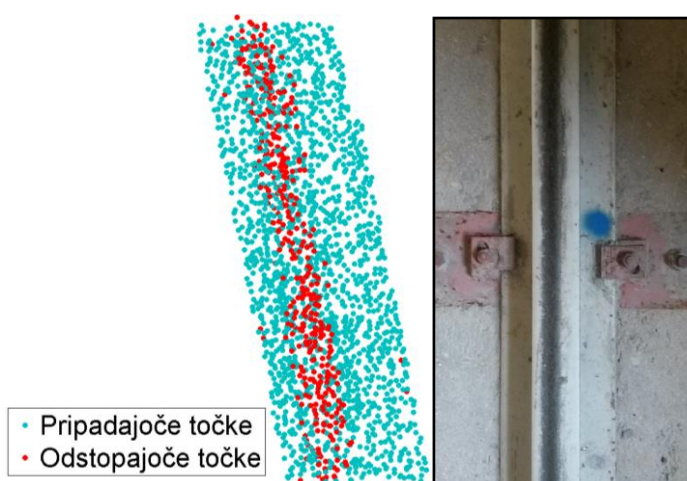
Slika 36: Filtriran oblak točk zgornje in stranske ploskve na poljubno izbranem odseku tirnice

V drugem koraku oblak točk razdelimo na segmente poljubnih dolžin. V našem primeru smo obe žerjavni progi razdelili na segmente dolžine 1 m, tako smo v HEK dobili 61 segmentov in v TEB 47 segmentov posamezne tirnice. V primeru žerjavne proge TEB smo za testiranje druge hipoteze žerjavno progo razdelili tudi na segmente različnih dolžin, s čimer smo ugotavljali vpliv dolžine segmenta na določitev parametrov geometrije proge. Gostota skeniranih točk v segmentih je zelo različna. Segmenti, ki so bližje stojišču instrumenta, imajo zelo veliko gostoto točk, medtem ko imajo segmenti na nasprotni strani stojišč manjšo gostoto, vendar kljub temu ustrezno za nadaljne izračune. Kot vidimo iz slik 36 in 37 ima zgornja ploskev zaradi večje površine ploskve večje število točk kot stranska ploskev, zato je bilo zgornjo ploskev tudi lažje ekstrahirati iz oblaka točk, medtem ko je bilo stransko ploskev precej težje prepoznati. Na sliki 37 je prikazan del tirnice razdeljen na segmente, kjer sta oblaka točk stranske in zgornje ploskve tirnice združena, čeprav jih v tem koraku obravnavamo ločeno.



Slika 37: Prikaz sedmih segmentov tirnice

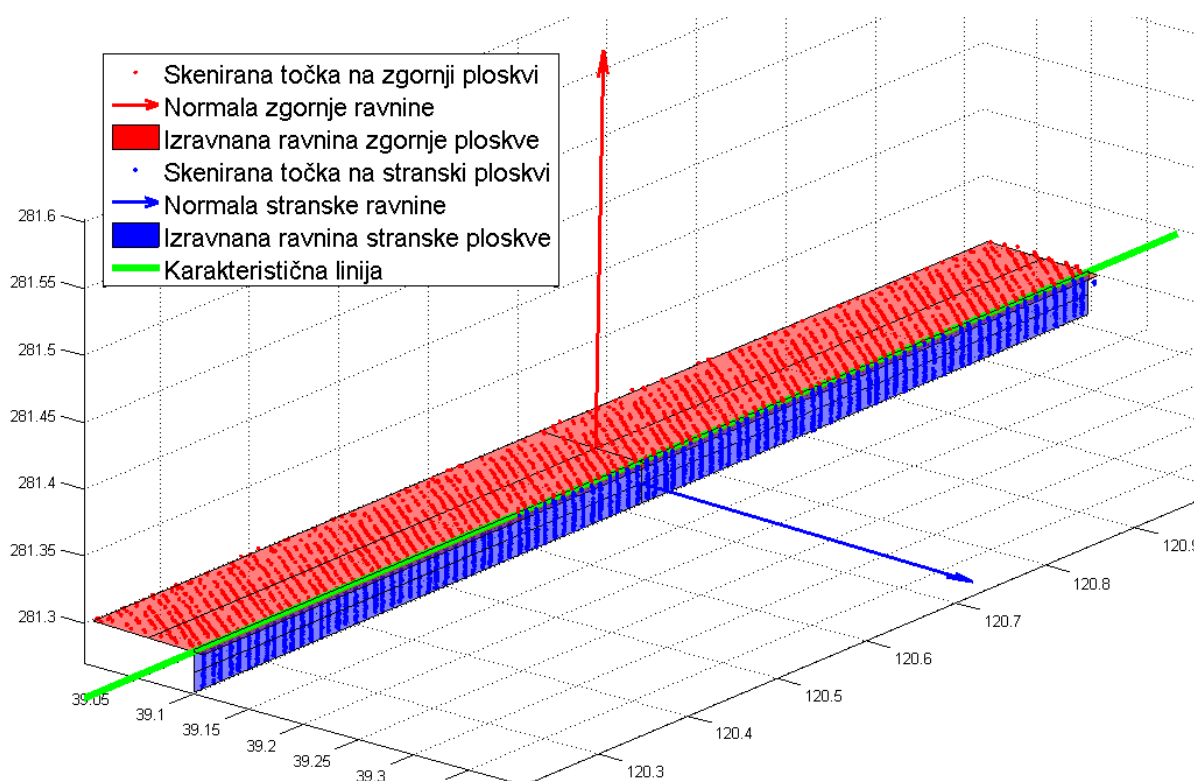
V tretjem koraku smo uporabili algoritem RANSAC, s pomočjo katerega smo izvedli fino filtriranje, in iz oblaka točk izločili grobe pogreške, katerih v procesu ročnega filtriranja ni bilo mogoče prepoznati. Vsako ploskev posameznega segmenta smo filtrirali posebej. Izbrati smo morali ustrezno toleranco, na osnovi katere je algoritem določil pripadajoče in odstopajoče točke. Točke, ki so od ravnine oddaljene več od izbrane tolerance, predstavljajo odstopajoče točke oziroma grobe pogreške, točke, ki so od ravnine oddaljene manj od tolerance, pa dobijo status pripadajočih točk in predstavljajo vhodni podatek za izravnano. Natančnost skeniranja žerjavne proge HEK znaša nekaj več kot 1 mm, medtem ko točnost skeniranja proge v TEB znaša približno 5 mm. Temu primerno smo izbrali tudi toleranco, in sicer v primeru oblaka točk tirnic HEK je bila izbrana toleranca 2 mm, v primeru oblaka točk tirnic TEB pa 5 mm. Na sliki 38 je prikazano, kako je RANSAC prepoznal grobe pogreške, ki so nastali zaradi vpliva odbojne površine (hrapavost in barva ploskve, absorpcija). Vidimo, da je zgornja ploskev tirnice zaradi koles žerjava po sredini že nekoliko obrabljena in posledično ima žarek na tem delu mesta drugačen odboj.



Slika 38: Primer uporabe algoritma RANSAC

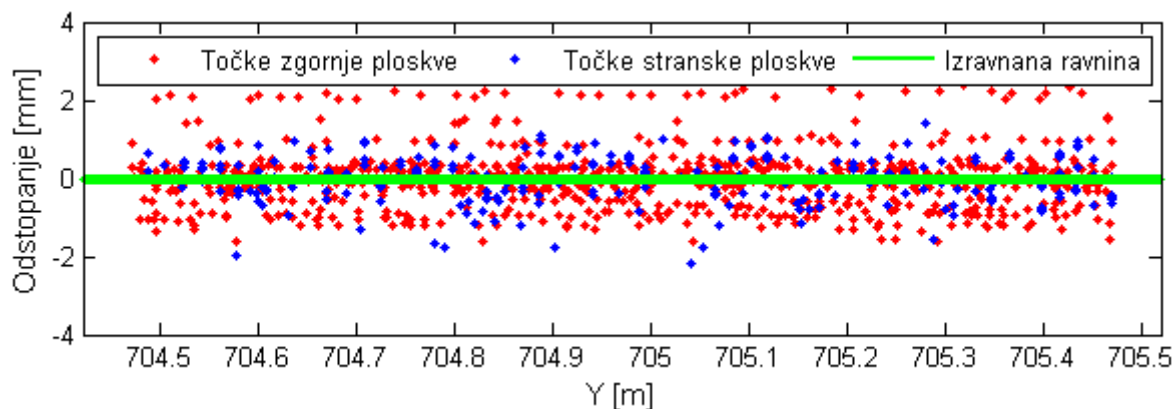
V četrtem koraku izvedemo izravnavo ravnine skozi skenirane točke po metodi najmanjših kvadratov s singularnim razcepom (SVD). Kot rezultat dobimo dva vektorja, ki napenjata ravnino, in vektor normale. Izravnavo vsak segment posebej in v vsakem segmentu vsako ploskev posebej. Tako za posamezen segment dobimo izravnavo ravnino zgornje ploskve in izravnavo ravnino stranske ploskve. Izravnani ravnini posameznega segmenta združimo, kjer presečišče obeh ravnin predstavlja karakteristično linijo (Slika 39). Za posamezno tirnico dobimo toliko karakterističnih linij, kolikor ima tirnica segmentov. V HEK je bila tirnica določena z 61. linijami, v TEB pa s 47. karakterističnimi linijami. Karakteristične linije predstavljajo dejanski potek zgornjega notranjega roba glave tirnice, torej mesto, ki predstavlja izhodišče za računanje razponov in višinskih razlik med tirnicama. Horizontalni in vertikalni potek žerjavne proge je enak poteku karakterističnih linij. Na osnovi izravnave lahko določimo natančnosti izravnanih ravnin in s tem natančnosti karakterističnih linij. Natančnost karakteristične linije σ_{KL} opišemo s cenilko kakovosti karakteristične linije in je odvisna od natančnosti izravnavane ravnine zgornje ploskve σ_{rz} ter od natančnosti izravnavane ravnine stranske ploskve σ_{rs} :

$$\sigma_{KL} = \sqrt{\sigma_{rz}^2 + \sigma_{rs}^2}. \quad (38)$$



Slika 39: Izravnani ravnini segmenta s pripadajočo karakteristično linijo

Na sliki 40 je prikazan poljubno izbran segment, ki predstavlja odstopanje pripadajočih točk zgornje in stranske ploskve glave tirnice od izravnavane ravnine.



Slika 40: Pravokotno odstopanje pripadajočih točk tirnice od izravnane ravnine poljubnega segmenta

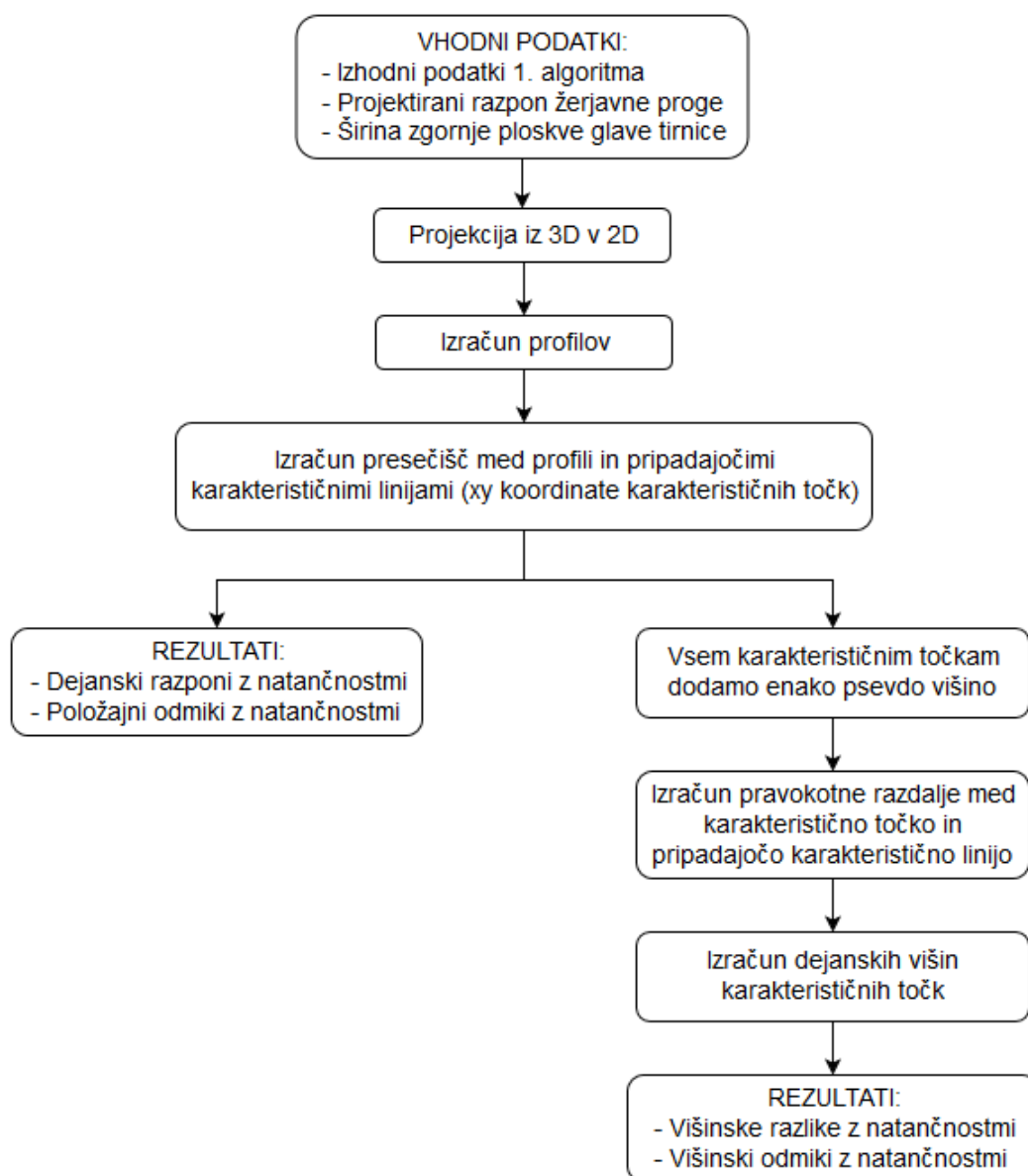
V petem koraku določimo za posamezen segment točke na karakterističnih linijah obeh tirnic. Prve štiri korake izračunov ponovimo še za drugo tirnico žerjavne proge. Na vsaki karakteristični liniji obeh tirnic določimo po eno točko. Tako smo v našem primeru za žerjavno progo HEK določili 122 točk in za žerjavno progo TEB 94 točk. Te točke predstavljajo osnovo za rotacijo oblaka točk v koordinatni sistem žerjavne proge.

V šestem koraku izvedemo transformacijo oblaka točk tirnic iz koordinatnega sistema instrumenta v koordinatni sistem žerjavne proge. Skozi vse točke, ki smo jih določili na karakterističnih linijah obeh tirnic, interpoliramo premico po metodi najmanjših kvadratov. Interpolirana premica predstavlja povprečno smer obeh tirnic žerjavne proge. Na osnovi interpolirane premice izračunamo kot rotacije (orientacijska smer). Oblak točk rotiramo za takšen kot, da je interpolirana premica pravokotna na os x in vzporedna z osjo y . Z rotacijo zagotovimo, da so izbrane dolžine segmentov točne, saj dolžino segmenta določimo glede na y os tirnice, ki z rotacijo postane vzporedna z y osjo koordinatnega sistema žerjavne proge. V prvi iteraciji izračuna pa y os tirnice ni vzporedna z y osjo koordinatnega sistema instrumenta, zato tudi izbrane dolžine segmentov niso točne. Kot rotacije žerjavne proge HEK znaša $301,870607^\circ$, žerjavne proge TEB pa $309,166324^\circ$. Z rotacijo lahko določene koordinate točk dobijo negativne vrednosti, zato smo v primeru proge HEK koordinatam y prišteli vrednost 1000 m. Tako na osnovi kota rotacije obe tirnici transformiramo v nov koordinatni sistem in lahko izvedemo drugo iteracijo. V drugi iteraciji ponovimo prvi, drugi in četrti korak. Z drugo iteracijo tirnico razdelimo na nove segmente, ki so pravih dolžin, in jih ponovno izravnamo ter izračunamo nove karakteristične linije. Orodje RANSAC v tej iteraciji ne uporabimo, saj je oblak točk fino filtriran že v prvi iteraciji in prav tako ne računamo točk na karakteristični liniji, saj jih ne potrebujemo za nadaljnje izračune. Rezultat algoritma so parametri karakteristične linije, natančnosti izravnanih ravnin in parametri interpolirane premice, ki predstavljajo vhodne podatke za algoritem, ki izračuna odmike, razpone in višinske razlike tirnic.

Parametri izravnanih ravnin (natančnosti, gostota točk in koti) so za obe obravnavani žerjavni progi prikazani v prilogah A, B, C in D.

Omeniti moramo, da smo na enak način, kot smo transformirali skeniran oblak točk tirnic HEK v koordinatni sistem žerjavne proge, transformirali tudi karakteristične točke tirnic, ki smo jih izračunali na osnovi klasične polarne metode detajlne izmere. Torej karakteristične točke klasične polarne metode detajlne izmere smo rotirali za enak azimut in koordinatam y smo prišteli enako vrednost kot v primeru skeniranega oblaka točk. S tem smo zagotovili enoten koordinatni sistem za obe metodi izmere.

5.4 Algoritem za določitev parametrov geometrije tirnic žerjavne proge



Slika 41: Algoritem za izračun parametrov geometrije tirnic žerjavne proge

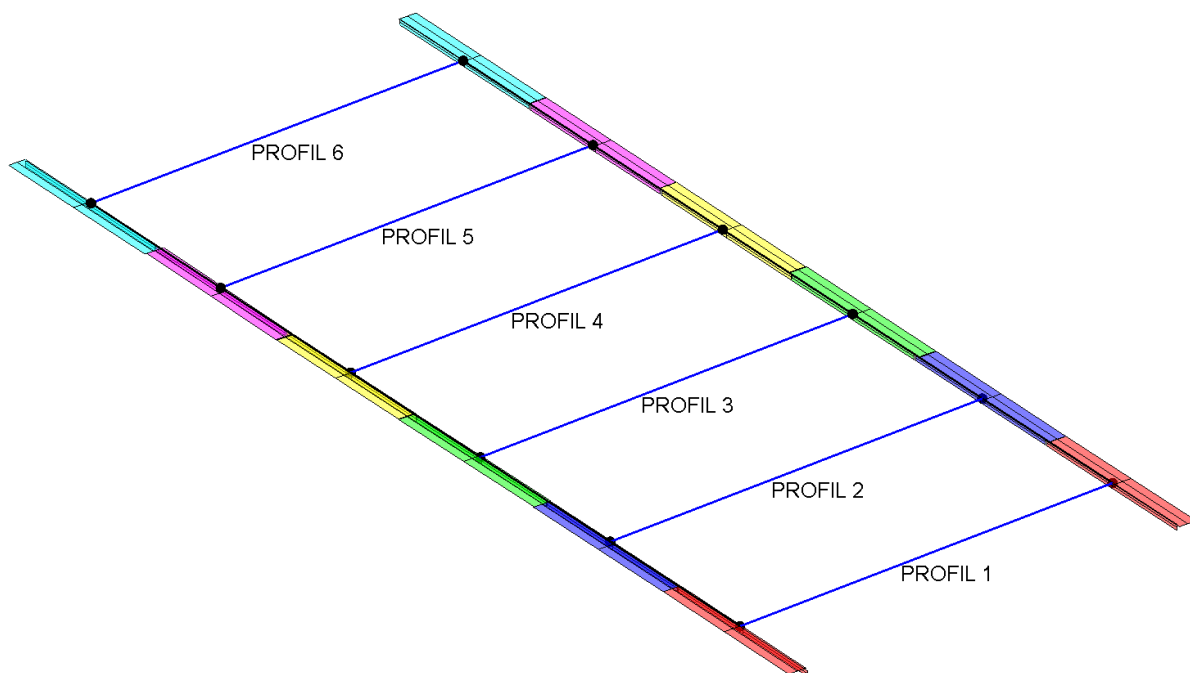
Na sliki 41 je prikazan diagram poteka drugega algoritma, s katerim izračunamo iskane parametre geometrije tirnic žerjavne proge. Vhodni podatki drugega algoritma so karakteristične linije tirnic, interpolirana premica, natančnosti izravnanih ravnin, projektirani razpon žerjavne proge in širina zgornje ploskve glave tirnice. Podatka o projektiranem razponu in širini zgornje ploskve tirnice najdemo v projektni dokumentaciji obravnavane žerjavne proge. Po standardu Evrokod 3 je projektiran razpon določen med osema obeh tirnic. V naši nalogi pa razpon računamo med stranskima notranjima ploskvama glave obeh tirnic, zato moramo za ugotovitev razlike med projektiranim in dejanskim razponom v izračunih upoštevati tudi širino zgornje ploskve glave tirnice.

Karakteristične linije in interpolirano premico najprej projiciramo iz 3D prostora v 2D prostor, in sicer v x - y ravnino, s čimer zagotovimo ustrezen izračun položajnih parametrov, in sicer razpona ter položajnih odmikov. Sledi izračun profilov med nasprotnima karakterističnima linijama ene in druge tirnice, ki so določeni tako, da so stacionaže karakterističnih točk točne. Profili predstavljajo pravokotnice na interpolirano premico žerjavne proge, torej so vzporedni z osjo x in pravokotni na os y koordinatnega sistema. Vsakemu paru nasprotujočih karakterističnih linij pripada en profil, torej so profili določeni v takšnih razmikih, kot smo izbrali dolžine segmentov. V našem primeru so dolžine segmentov 1 m, zato je tudi razmik med sosednjima profiloma 1 m. V naslednjem koraku smo izračunali presečišča med profili in karakterističnimi linijami. Vsak profil seka karakteristični liniji nasprotujočih segmentov na sredini. Presečišča predstavljajo položajne koordinate karakterističnih točk, na osnovi katerih določimo horizontalni potek žerjavne proge, torej dejanske razpone, premočrtnost in paralelnost tirnic. Razpon na posameznem profilu je enak razdalji med karakterističnima točkama tega profila. Položajne odmike karakterističnih točk od referenčnih linij tirnic žerjavne proge pa smo določili tako, da smo interpolirano premico paralelno premaknili za vrednost razlike med polovično razdaljo projektiranega razpona in polovično razdaljo širine glave tirnice proti eni in proti drugi tirnici. Tako sta obe tirnici dobili svoji referenčni liniji, ki sta med sabo paralelni in na konstantnem razponu, ki je enak razliki med projektiranim razponom in širino glave tirnice. Pravokotna razdalja med karakteristično točko in pripadajočo referenčno linijo tirnice predstavlja položajni odmik tirnice od referenčne linije te tirnice.

Vse izračune do sedaj smo opravili v 2D prostoru, zato karakteristične točke nimajo višinskih koordinat. Tako moramo za ugotovitev višinskega poteka žerjavne proge karakterističnim točkam določiti ustrezne višine. S tem karakteristične točke in nadaljnje izračune definiramo v 3D prostoru. Vsem karakterističnim točkam dodamo enako psevdo višino, in sicer takšno, da bodo točke približno na enaki višini kot karakteristične linije v 3D. Nato izračunamo pravokotno razdaljo med posamezno karakteristično točko in pripadajočo karakteristično linijo. Vsota pravokotne razdalje in psevdo višine je enaka dejanski višini posamezne karakteristične točke. Višine karakterističnih točk nam omogočajo izračun višinske razlike med točkama posameznega profila. Za določitev višinskih odmikov moramo

predhodno izračunati povprečno vrednost vseh višin karakterističnih točk obeh tirnic, ki predstavlja referenčni višinski nivo. Višinski odmik posamezne karakteristične točke je tako enak razliki med višino te karakteristične točke in povprečno vrednostjo vseh višin.

Na sliki 42 je prikazan del žerjavne proge, in sicer prvih šest profilov žerjavne proge TEB. Vsaka tirnica je razdeljena na šest segmentov s pripadajočimi karakterističnimi linijami in karakterističnimi točkami, med katerimi računamo parametre geometrije proge.



Slika 42: 3D prikaz dela žerjavne proge z izdelanimi profili

Natančnost karakteristične točke je enaka natančnosti pripadajoče karakteristične linije, enačba (38). Istočasno z izračuni razponov, višinskih razlik in odmikov računamo tudi njihove natančnosti. Natančnosti položajnih odmikov so enake natančnostim izravnanih ravnin stranskih ploskev, medtem ko so natančnosti višinskih odmikov enake natančnostim izravnanih ravnin zgornjih ploskev. Tako je natančnost položajnega odmika karakteristične točke na posameznem segmentu enaka natančnosti stranske ravnine tega segmenta in natančnost višinskega odmika karakteristične točke na posameznem segmentu je enaka natančnosti zgornje ravnine tega segmenta. Natančnost dejanskega razpona σ_{sd} je odvisna od natančnosti določitve stranske ravnine prve tirnice σ_{rs_1} in natančnosti določitve stranske ravnine druge tirnice σ_{rs_2} :

$$\sigma_{sd} = \sqrt{\sigma_{rs_1}^2 + \sigma_{rs_2}^2}. \quad (39)$$

Natančnost višinske razlike $\sigma_{\Delta h_c}$ med tirnicama pa je odvisna od natančnosti določitve zgornje ravnine prve tirnice $\sigma_{r_{z_1}}$ in natančnosti določitve zgornje ravnine druge tirnice $\sigma_{r_{z_2}}$:

$$\sigma_{\Delta h_c} = \sqrt{\sigma_{r_{z_1}}^2 + \sigma_{r_{z_2}}^2}. \quad (40)$$

6 REZULTATI IN ANALIZA

Parametre geometrije obeh opazovanih žerjavnih prog smo prikazali tabelarično in grafično ter jih analizirali. Pri žerjavni progi HEK smo najprej analizirali rezultate meritev na osnovi klasične polarne metode detajlne izmere in nato še rezultate na osnovi skeniranja s terestričnim laserskim skenerjem ter tako na osnovi obeh metod izmere preverili, ali proga ustreza predpisom obravnavanega standarda. Prav tako smo testirali prvo hipotezo, kjer smo primerjali, kako se razponi, višinske razlike in odmiki razlikujejo med obema metodama izmere. Tako kot pri žerjavni progi HEK smo tudi pri žerjavni progi TEB najprej preverili, ali je proga v horizontalnem in višinskem smislu skladna s standardom Evrokod 3. Nato smo na tej progi tudi testirali drugo in tretjo hipotezo, kjer smo ugotavljali, kako dolžina segmenta in gostota točk tirnic vplivata na določitev parametrov geometrije tirnic žerjavne proge.

6.1 Žerjavna proga HEK

Projektirani razpon žerjavne proge HEK med osema obeh tirnic znaša 13,1000 m. Pri horizontalni izmeri kontroliramo razliko dejanskega razpona glede na projektirano vrednost, ki mora biti enaka ali manjša od 10 mm. Dejanski razpon smo računali med zgornjim notranjim robom glave dolvodne tirnice in zgornjim notranjim robom glave gorvodne tirnice, vendar smo ga morali, zaradi primerjave s projektiranim razponom, na osnovi širine zgornje ploskve glave tirnice premakniti in dokončno določiti med osema obeh tirnic. Dejanski razpon proge HEK mora biti ob neupoštevanju natančnosti na posameznem profilu na intervalu med vrednostma 13,0900 m in 13,1100 m. Če dejanski razpon ni znotraj teh dveh vrednosti, pomeni, da žerjavna proga ni skladna s standardom. Pri višinski izmeri ugotavljamo razliko v višinah med obema tirnicama v posameznem prečnem prerezu. Glede na projektirani razpon žerjavne proge znaša dovoljena višinska razlika ob neupoštevanju natančnosti v posameznem prečnem prerezu oziroma profilu 21,8 mm. Profile smo začeli označevati na koncu žerjavne proge, torej na nasprotni strani montažne ploščadi.

6.1.1 Klasična polarna metoda detajlne izmere

V preglednici 7 so predstavljeni položajni odmiki Δx tirnic od referenčne linije posamezne tirnice, dejanski razponi s_d med tirnicama ter razlike dejanskih razponov Δs glede na projektirani razpon po posameznih profilih. Razmik med profili znaša približno 1,8 m. Ob upoštevanju natančnosti določitve dejanskega razpona, ki znaša 0,8 mm (Preglednica 11), mora biti dejanski razpon proge na posameznem profilu na intervalu med vrednostma 13,0908 m in 13,1092 m, da lahko zagotovo trdimo, da so dejanski razponi skladni s standardom. Negativen predznak pri razliki razponov pomeni, da je razpon manjši od projektiranega, pozitivna vrednost razlike razponov pa, da je dejanski razpon večji od projektiranega. Vidimo, da žerjavna proga v prvih treh profilih in tudi na četrtem profilu z

upoštevanjem natančnosti določitve razpona ni skladna s standardom, saj je dejanski razpon med tirnicama na tem delu premajhen. Četrty profil je glede na razliko dejanskega razpona znotraj meje dopustnega odstopanja, vendar ob upoštevanju natančnosti določitve razpona za ta profil ne moremo zagotovo trditi, da je znotraj meje dovoljenega odstopanja, zato razpon na tem profilu označimo za neustrezen. Tirnici sta v prvih profilih preveč skupaj, predvsem zaradi odmika dolvodne tirnice. Opazimo, da je v prvih profilih odklik dolvodne tirnice od referenčne linije tirnice dokaj velik, nato pa se uravnoteži. Maksimalen odklik dolvodne tirnice znaša 11,7 mm, povprečen pa 2,6 mm, medtem ko maksimalen odklik gorvodne tirnice znaša 5,0 mm, povprečen odklik pa 2,1 mm. Povprečna razlika med dejanskim in projektiranim razponom znaša 3,4 mm, največja pa 12,3 mm. Standard predpisuje, da nobena od razdalj med karakterističnima točkama istega profila ne sme odstopati od projektirane vrednosti za več kot 10 mm. Ugotovimo, da so razponi od 5. do 34. profila ustrezni, saj zagotovo ležijo znotraj meje, ki jo določa standard. V prvih petih profilih pa razlika med razponoma preseže vrednost 10 mm, kar pomeni, da žerjavna proga HEK v horizontalnem smislu ni ustrezna.

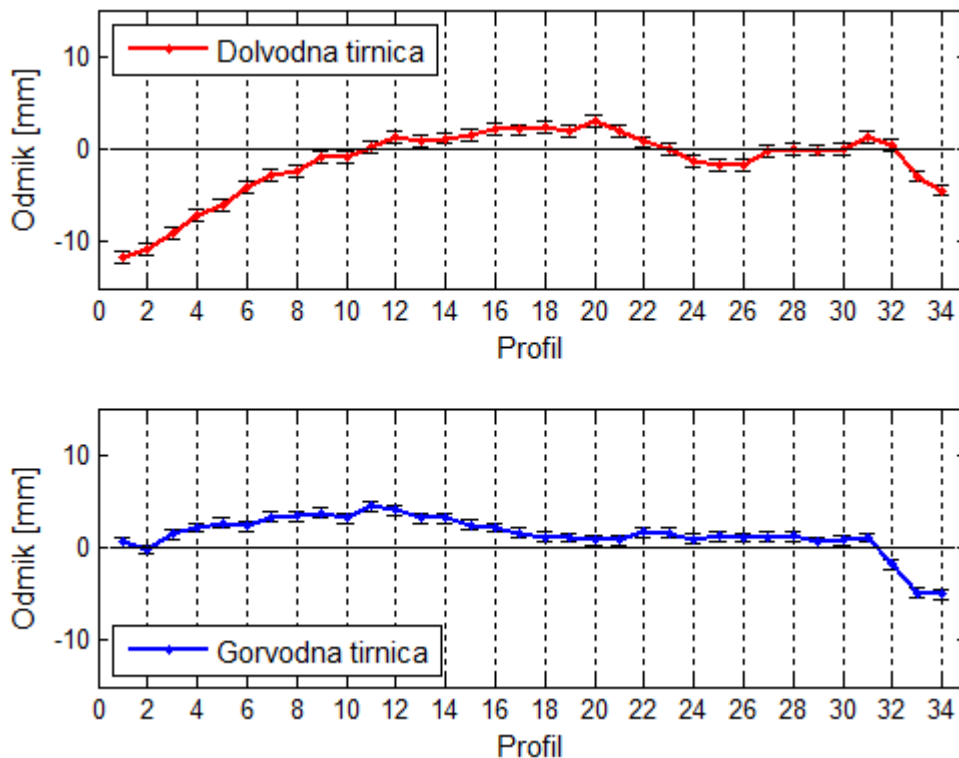
Preglednica 7: Horizontalni parametri žerjavne proge HEK na osnovi klasične polarne metode detajlne izmere

	Odklik dolvodne tirnice	Odklik gorvodne tirnice	Razpon		
Profil	Δx [mm]	Δx [mm]	s_d [m]	Δs [mm]	Ustreznost
1	-11,7	0,6	13,0877	-12,3	NE
2	-10,8	-0,2	13,0894	-10,6	NE
3	-9,1	1,5	13,0894	-10,6	NE
4	-7,1	2,2	13,0907	-9,3	NE
5	-6,0	2,7	13,0913	-8,7	DA
6	-4,0	2,3	13,0937	-6,3	DA
7	-2,8	3,3	13,0939	-6,1	DA
8	-2,4	3,4	13,0942	-5,8	DA
9	-0,8	3,8	13,0954	-4,6	DA
10	-0,8	3,2	13,0960	-4,0	DA
11	0,3	4,5	13,0958	-4,2	DA
12	1,3	4,1	13,0972	-2,8	DA
13	0,9	3,2	13,0977	-2,3	DA
14	1,2	3,2	13,0980	-2,0	DA
15	1,5	2,5	13,0990	-1,0	DA
16	2,2	2,2	13,1000	0,0	DA
17	2,1	1,6	13,1005	0,5	DA
18	2,4	1,2	13,1012	1,2	DA

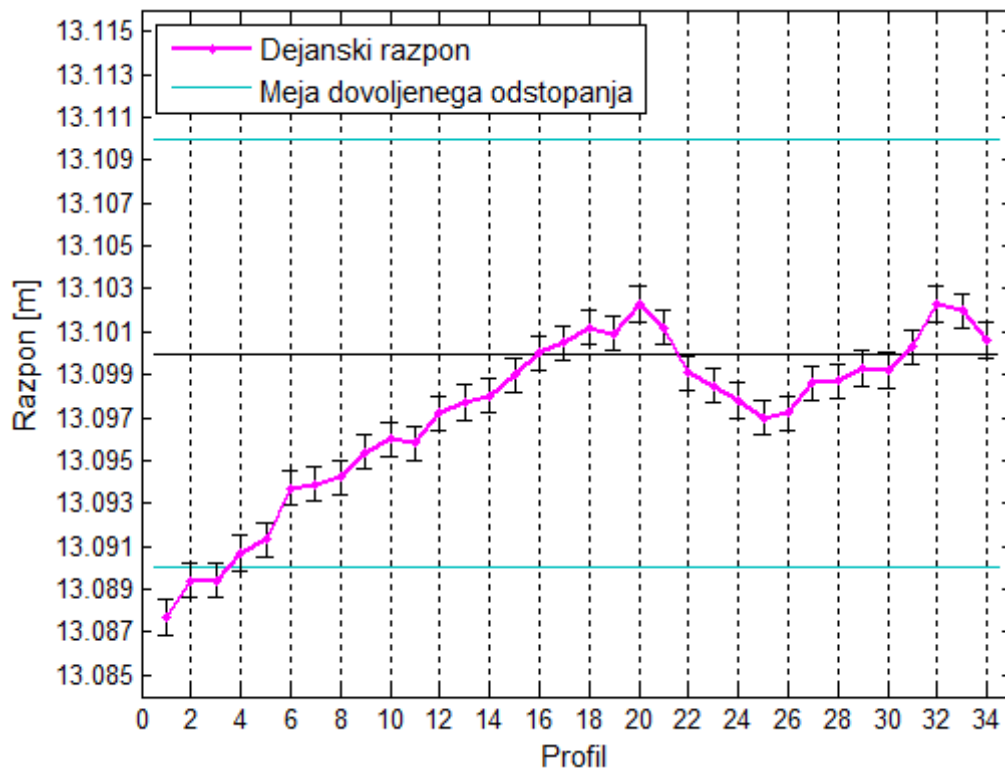
19	2,0	1,1	13,1009	0,9	DA
20	3,1	0,8	13,1023	2,3	DA
21	2,0	0,8	13,1012	1,2	DA
22	0,8	1,7	13,0991	-0,9	DA
23	0,1	1,6	13,0985	-1,5	DA
24	-1,2	1,0	13,0978	-2,2	DA
25	-1,7	1,3	13,0970	-3,0	DA
26	-1,7	1,1	13,0972	-2,8	DA
27	-0,2	1,2	13,0986	-1,4	DA
28	-0,0	1,3	13,0987	-1,3	DA
29	-0,1	0,6	13,0993	-0,7	DA
30	-0,0	0,8	13,0992	-0,8	DA
31	1,4	1,1	13,1003	0,3	DA
32	0,5	-1,8	13,1023	2,3	DA
33	-2,9	-4,9	13,1020	2,0	DA
34	-4,4	-5,0	13,1006	0,6	DA
Maks.	11,7	5,0		12,3	
Min.	0,0	0,2		0,0	
Povp.	2,6	2,1		3,4	

Iz slike 43 vidimo, da tirnici žerjavne proge nista niti paralelni niti premočrtni. Pri dolvodni tirnici opazimo, da v prvih profilih njeni odmiki kažejo v smer proti gorvodni tirnici. Odmiki gorvodne tirnice so skoraj ves čas usmerjeni proti dolvodni tirnici, razen v zadnjih treh profilih, ko so odmiki usmerjeni na zunanjo stran proge glede na referenčno linijo. Tako gorvodna kot tudi dolvodna tirnica imata natančnost določitve položajnih odmikov (Preglednica 11) konstantno vzdolž žerjavne proge.

Na sliki 44 so izrisani dejanski razponi po posameznih profilih in pripadajoče natančnosti razponov. Vidimo, da so razponi na prvih treh profilih in tudi razpon na četrtem profilu z upoštevanjem natančnosti zunaj meje dovoljenega odstopanja, kar posledično pomeni, da žerjavna proga v horizontalnem smislu ne ustreza kriteriju, ki ga predpisuje standard. Do 16. profila je dejanski razpon manjši od projektiranega, nato je nekoliko večji in po šestih profilih zopet manjši ter pri zadnjih profilih ponovno večji od projektiranega. Manjši dejanski razpon od projektiranega pomeni, da tirnici dejansko potekata bolj skupaj, kot bi morali glede na projektirani osi tirnic. Večji dejanski razpon od projektiranega pa pomeni, da sta tirnici med sabo bolj narazen, kot sta projektirani osi teh dveh tirnic. Iz slike tudi vidimo, da je natančnost določitve razpona (Preglednica 11) konstantna vzdolž celotne žerjavne proge.



Slika 43: Položajni odmiki in natančnosti odmikov tirnic žerjavne proge HEK na osnovi klasične polarne metode detajlne izmere



Slika 44: Razponi in natančnosti razponov med tirnicama žerjavne proge HEK na osnovi klasične polarne metode detajlne izmere

Preglednica 8 prikazuje parametre, ki določajo potek žerjavne proge v višinskem smislu, in sicer višinske odmike ΔH dolvodne in gorvodne tirnice od povprečne vrednosti višin vseh karakterističnih točk ter višinske razlike Δh_C med pripadajočimi karakterističnimi točkami na posameznih profilih. Vidimo, da so višinski odmiki dolvodne tirnice na vseh profilih, razen na 13. profilu, večji od referenčnega višinskega nivoja. Višinski odmiki gorvodne tirnice pa so približno dve tretjini žerjavne proge manjši od povprečne višine tirnic, pri zadnjih profilih proge pa so večji od referenčnega nivoja. Maksimalen višinski odmik dolvodne tirnice znaša 3,0 mm in povprečen odmik 1,6 mm, medtem ko pri gorvodni tirnici znaša maksimalen odmik 4,7 mm, povprečen pa 2,5 mm. Opazimo, da so višinski odmiki tirnic relativno majhni, kakor tudi višinske razlike med tirnicama na posameznem profilu. Povprečna višinska razlika znaša 3,3 mm, maksimalna pa 5,9 mm. Da lahko zagotovo trdimo, da žerjavna proga HEK v višinskem smislu ustreza predpisom iz standarda, mora biti višinska razlika med karakterističnima točkama na istem profilu ob upoštevanju natančnosti določitve višinske razlike, ki znaša 1,1 mm (Preglednica 11), manjša ali enaka največji dovoljeni višinski razliki, ki znaša 20,7 mm. Ugotovimo, da lahko zagotovo trdimo, da je višinska razlika na vseh profilih žerjavne proge znotraj meje dovoljenega odstopanja, kar pomeni, da je žerjavna proga HEK v višinskem smislu ustrezna.

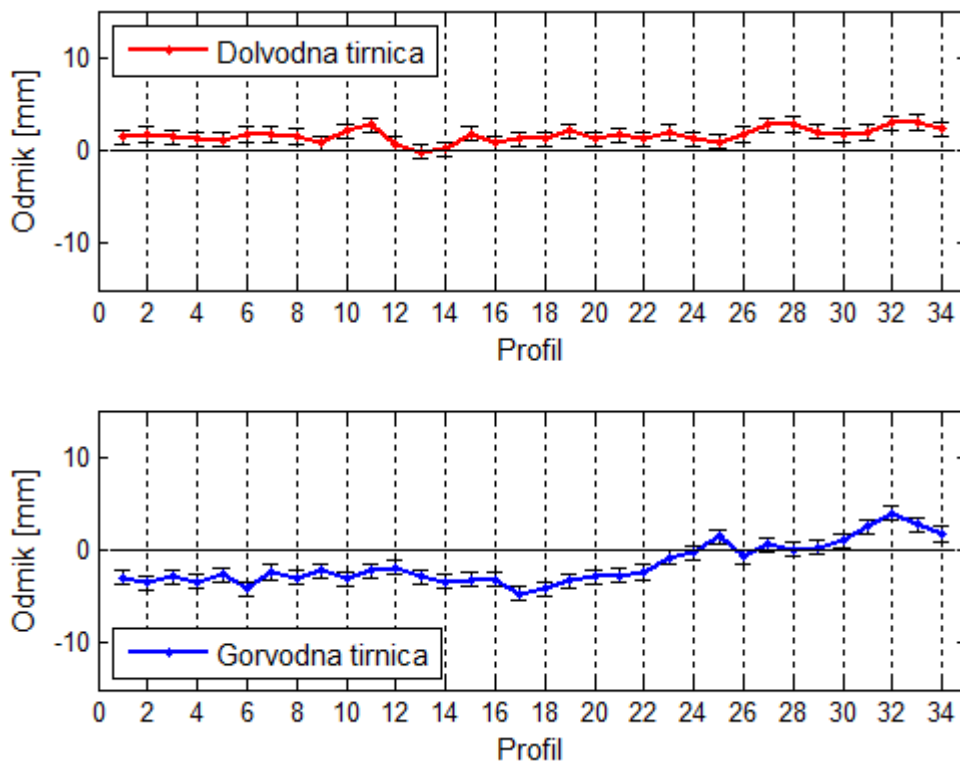
Preglednica 8: Vertikalni parametri žerjavne proge HEK na osnovi klasične polarne metode detajlne izmere

	Odmik dolvodne tirnice	Odmik gorvodne tirnice	Višinska razlika	
Profil	ΔH [mm]	ΔH [mm]	Δh_C [mm]	Ustreznost
1	1,4	-3,0	4,4	DA
2	1,7	-3,5	5,2	DA
3	1,4	-2,9	4,3	DA
4	1,2	-3,4	4,6	DA
5	1,1	-2,7	3,8	DA
6	1,7	-4,2	5,9	DA
7	1,7	-2,4	4,1	DA
8	1,5	-3,0	4,5	DA
9	0,8	-2,2	3,0	DA
10	2,1	-3,1	5,2	DA
11	2,7	-2,2	4,9	DA
12	0,7	-1,9	2,6	DA
13	-0,2	-2,9	2,7	DA
14	0,1	-3,4	3,5	DA

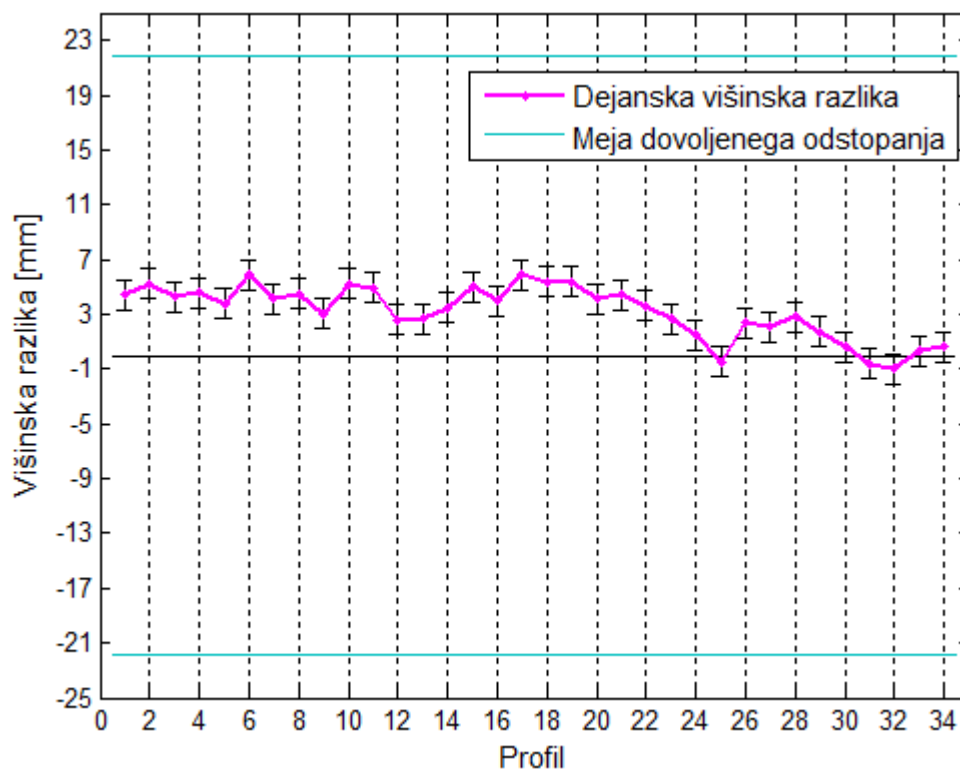
15	1,8	-3,2	5,0	DA
16	0,8	-3,2	4,0	DA
17	1,2	-4,7	5,9	DA
18	1,2	-4,2	5,4	DA
19	2,1	-3,3	5,4	DA
20	1,2	-2,9	4,1	DA
21	1,6	-2,8	4,4	DA
22	1,2	-2,4	3,6	DA
23	1,9	-0,8	2,7	DA
24	1,2	-0,3	1,5	DA
25	0,9	1,4	-0,5	DA
26	1,7	-0,7	2,4	DA
27	2,7	0,6	2,1	DA
28	2,8	0,0	2,8	DA
29	2,0	0,3	1,7	DA
30	1,6	1,0	0,6	DA
31	1,9	2,5	-0,6	DA
32	2,9	3,9	-1,0	DA
33	3,0	2,7	0,3	DA
34	2,3	1,7	0,6	DA
Maks.	3,0	4,7	5,9	
Min.	0,1	0,0	0,3	
Povp.	1,6	2,5	3,3	

Na sliki 45 so prikazani višinski odmiki obeh tirnic od referenčnega višinskega nivoja. Opazimo lahko, da je dejanska višina dolvodne tirnice ves čas vzdolž žerjavne proge nekoliko večja od višine referenčnega nivoja, medtem ko je dejanska višina gorvodne tirnice rahlo manjša od referenčnega nivoja, razen v zadnjih profilih proge, ko je večja. Posledica tega je, da je dolvodna tirnica na nekoliko višji nadmorski višini kot gorvodna tirnica. Natančnost določitve višinskih odmikov (Preglednica 11) je za obe tirnici enaka in konstantna vzdolž proge.

Slika 46 prikazuje višinske razlike in natančnosti določitve višinskih razlik med karakterističnimi točkami posameznih profilov. Vidimo, da so višinske razlike skupaj z natančnostmi znotraj meje dopustnega odstopanja, kar posledično pomeni, da je proga v višinskem smislu skladna s standardom. Na osnovi višinske razlike ugotovimo, da tirnici nista na enaki nadmorski višini, kar pomeni, da se žerjav po progi premika z rahlim nagibom. Na koncu žerjavne proge, pri prvih profilih, je nagib žerjava nekoliko večji kot na začetku proge. Žerjav rahlo visi v smeri proti gorvodni tirnici. Natančnosti višinskih razlik (Preglednica 11) so na vseh profilih enake.



Slika 45: Višinski odmiki in natančnosti odmikov tirnic žerjavne proge HEK na osnovi klasične polarne metode detajlne izmere



Slika 46: Višinske razlike in natančnosti višinskih razlik med tirnicama žerjavne proge HEK na osnovi klasične polarne metode detajlne izmere

Preglednica 9 predstavlja izračunane natančnosti koordinat detajlnih točk žerjavne proge na osnovi razlik dvakratnih meritev centra vsake tarče. Iz dvakratnih meritev na vsako izmed obeh prizem na vsaki postavitvi smo izračunali povprečje. Na dolvodni tirnici smo izmerili 140 točk ter prav toliko tudi na gorvodni tirnici. Za vse merjene točke smo izračunali razlike in določili standardni odklon $\sigma_{\delta t}$ koordinat obeh tirnic. Za nas je pomemben standardni odklon koordinate x , ki določa natančnost žerjavne proge v položajnem smislu in standardni odklon koordinate z , ki določa natančnost proge v višinskem smislu. Iz preglednice vidimo, da sta ta dva standardna odklona za obe tirnici zelo majhna, kar kaže na kakovost opravljenih meritev in odsotnost grobih pogreškov. Vidimo, da nekoliko odstopa največja absolutna razlika $\max|\delta t|$ koordinate z gorvodne tirnice, ki je nekoliko večja od preostalih vrednosti.

Preglednica 9: Statistika dvakratnih meritev na isto tarčo

	Dolvodna tirnica			Gorvodna tirnica		
	x [mm]	y [mm]	z [mm]	x [mm]	y [mm]	z [mm]
$\sigma_{\delta t}$	0,09	0,09	0,07	0,13	0,13	0,20
$\max \delta t $	0,30	0,20	0,30	0,65	0,40	1,49

V preglednici 10 so predstavljene natančnosti koordinat na osnovi dvojnih izračunov koordinat karakteristične točke. Koordinate in pripadajoče natančnosti karakterističnih točk izračunamo posebej glede na zgornjo in posebej glede na stransko prizmo. Natančnosti karakterističnih točk na osnovi dvojnih izračunov so nekoliko slabše in vidimo lahko, da v določenih primerih standardni odkloni presežejo vrednost treh milimetrov.

Preglednica 10: Statistika točk v vsaki liniji

	σ_x [mm]	σ_z [mm]
Dolvodna zgornja	3,52	0,74
Dolvodna stranska	3,79	1,03
Gorvodna zgornja	2,36	2,26
Gorvodna stranska	2,33	2,50

Preglednica 11 prikazuje natančnosti položajnih in višinskih parametrov, na osnovi katerih smo tudi določili natančnosti parametrov klasične polarne metode detajlne izmere v naši nalogi. Vidimo, da je položajna natančnost nekoliko boljše kot višinska natančnost. Odmiki so določeni z visoko natančnostjo, boljše od 1 mm, in prav tako tudi razponi, medtem ko višinska natančnost rahlo preseže vrednost 1 mm.

Preglednica 11: Natančnost koordinat oziroma natančnost odmikov, razponov in višinskih razlik tirnic na osnovi eliminacije vpliva nehorizontalnosti

	$\sigma_{\Delta x}$ [mm]	$\sigma_{\Delta H}$ [mm]	σ_{s_d} [mm]	$\sigma_{\Delta h_c}$ [mm]
Dolvodna tirnica	0,6	0,8	0,8	1,1
Gorvodna tirnica	0,5	0,8		

Izravnane koordinate in natančnosti karakterističnih točk se nahajajo v prilogi E.

6.1.2 Terestrično lasersko skeniranje

V primeru laserskega skeniranja smo vsako tirnico posebej razdelili na 61 segmentov, kar pomeni, da smo žerjavno progo opisali na osnovi 61. profilov. Segmenti so dolžine 1 m in prav tako so tudi razmiki med profili velikosti 1 m. Gostota profilov je v primeru skeniranja večja kakor v primeru klasične polarne metode detajlne izmere, zato sta tudi horizontalni in vertikalni potek žerjavne proge določena bolj detajlno.

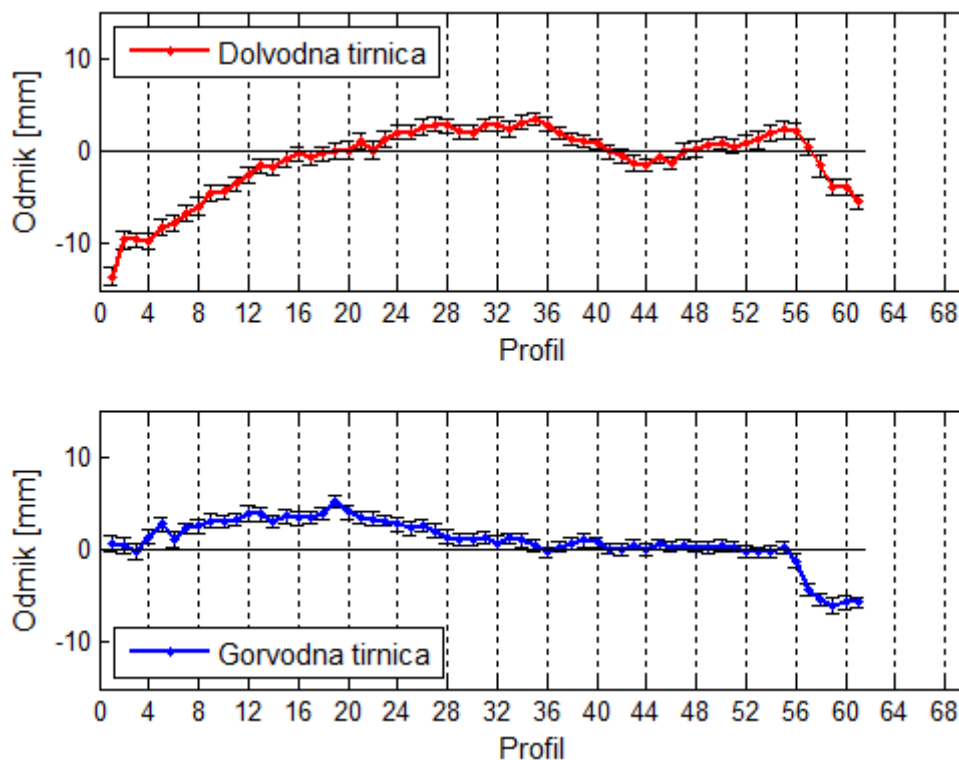
Preglednica 12 vsebuje parametre, ki opisujejo horizontalni potek žerjavne proge, izmerjene s tehnologijo TLS. Vidimo, da je dejanski razpon v 1., 4., in 5. profilu zunaj meje dopustnega odstopanja. Tudi za razpona na 2. in 3. profilu ob upoštevanju natančnosti določitve razpona na teh dveh profilih ne moremo zagotovo trditi, da sta znotraj meje dovoljenega odstopanja, zato tudi razpona na teh dveh profilih označimo, da nista skladna s standardom. Tirnici sta v teh profilih preveč skupaj, kar je posledica odmika dolvodne tirnice od njene referenčne linije, saj njeni odmiki v teh prvih profilih kažejo v smer proti notranjosti žerjavne proge oziroma proti gorvodni tirnici in so dokaj veliki, medtem ko so odmiki gorvodne tirnice od njene referenčne linije majhni. Negativna razlika razponov pomeni, da je dejanski razpon manjši od projektiranega, medtem ko pozitivna razlika razponov predstavlja večji dejanski razpon od projektiranega razpona. Povprečna razlika razponov znaša 3,4 mm, torej toliko kot pri klasični polarni metodi detajlne izmere. Največje odstopanje dejanskega razpona od projektiranega je na prvem profilu in znaša 14,2 mm. Povprečen odklik dolvodne tirnice znaša 2,7 mm, gorvodne tirnice pa 1,9 mm. Na vsakem profilu smo za vsak odklik določili natančnost odmika $\sigma_{\Delta x}$ in za vsak razpon tudi njegovo natančnost σ_{s_d} . Povprečna natančnost določitve položajnih odmikov je pri obeh tirnicah manjša od 1 mm, medtem ko je povprečna natančnost določitve razponov enaka 1,0 mm. Ugotovimo, da za razpone od 6. do 61. profila lahko zagotovo trdimo, da so znotraj dopustnega odstopanja, medtem ko za prvih pet profilov ne moremo trditi, da dejanski razpon od projektiranega razpona odstopa za manj kot 10 mm, kar posledično pomeni, da žerjavna proga HEK v horizontalnem smislu ni v skladu s predpisi, ki jih določa obravnavani standard.

Preglednica 12: Horizontalni parametri žerjavne proge HEK na osnovi metode TLS

Profil	Odmik dolvodne tirnice		Odmik gorvodne tirnice		Razpon			Ustreznost
	Δx [mm]	$\sigma_{\Delta x}$ [mm]	Δx [mm]	$\sigma_{\Delta x}$ [mm]	s_d [m]	σ_{s_d} [mm]	Δs [mm]	
1	-13,5	0,9	0,7	0,9	13,0858	1,3	-14,2	NE
2	-9,6	0,9	0,4	0,8	13,0900	1,2	-10,0	NE
3	-9,6	0,8	-0,2	0,8	13,0906	1,1	-9,4	NE
4	-9,7	0,8	1,4	0,8	13,0889	1,1	-11,1	NE
5	-8,2	0,9	2,7	0,8	13,0891	1,2	-10,9	NE
6	-7,7	0,9	1,1	0,8	13,0912	1,2	-8,8	DA
7	-6,7	0,8	2,3	0,6	13,0910	1,0	-9,0	DA
8	-6,0	1,0	2,5	0,7	13,0915	1,2	-8,5	DA
9	-4,5	0,8	3,1	0,7	13,0923	1,1	-7,7	DA
10	-4,4	0,8	3,0	0,7	13,0925	1,1	-7,5	DA
11	-3,5	0,8	3,2	0,7	13,0934	1,1	-6,6	DA
12	-2,6	0,9	3,9	0,8	13,0935	1,2	-6,5	DA
13	-1,6	0,8	3,8	0,7	13,0946	1,1	-5,4	DA
14	-1,7	0,8	3,0	0,7	13,0953	1,1	-4,7	DA
15	-0,9	0,8	3,6	0,7	13,0955	1,1	-4,5	DA
16	-0,3	0,8	3,4	0,8	13,0963	1,1	-3,7	DA
17	-0,7	0,8	3,5	0,7	13,0958	1,1	-4,2	DA
18	-0,3	0,8	3,9	0,7	13,0958	1,1	-4,2	DA
19	0,0	0,8	5,2	0,7	13,0948	1,1	-5,2	DA
20	0,1	0,9	4,0	0,8	13,0961	1,2	-3,9	DA
21	1,1	0,8	3,5	0,7	13,0976	1,1	-2,4	DA
22	0,1	0,9	3,3	0,7	13,0968	1,1	-3,2	DA
23	1,3	0,8	3,1	0,6	13,0981	1,0	-1,9	DA
24	2,0	0,7	2,7	0,7	13,0993	1,0	-0,7	DA
25	2,0	0,7	2,3	0,7	13,0998	1,0	-0,2	DA
26	2,6	0,8	2,6	0,6	13,1000	1,0	0,0	DA
27	2,9	0,7	2,0	0,8	13,1009	1,1	0,9	DA
28	2,7	0,7	1,4	0,7	13,1014	1,0	1,4	DA
29	2,1	0,7	1,1	0,6	13,1011	0,9	1,1	DA
30	2,0	0,7	1,1	0,7	13,1009	1,0	0,9	DA
31	2,8	0,7	1,3	0,6	13,1015	0,9	1,5	DA
32	2,9	0,7	0,7	0,8	13,1022	1,1	2,2	DA
33	2,4	0,8	1,2	0,6	13,1012	1,0	1,2	DA
34	3,1	0,7	1,0	0,7	13,1021	1,0	2,1	DA
35	3,4	0,7	0,4	0,6	13,1031	0,9	3,1	DA

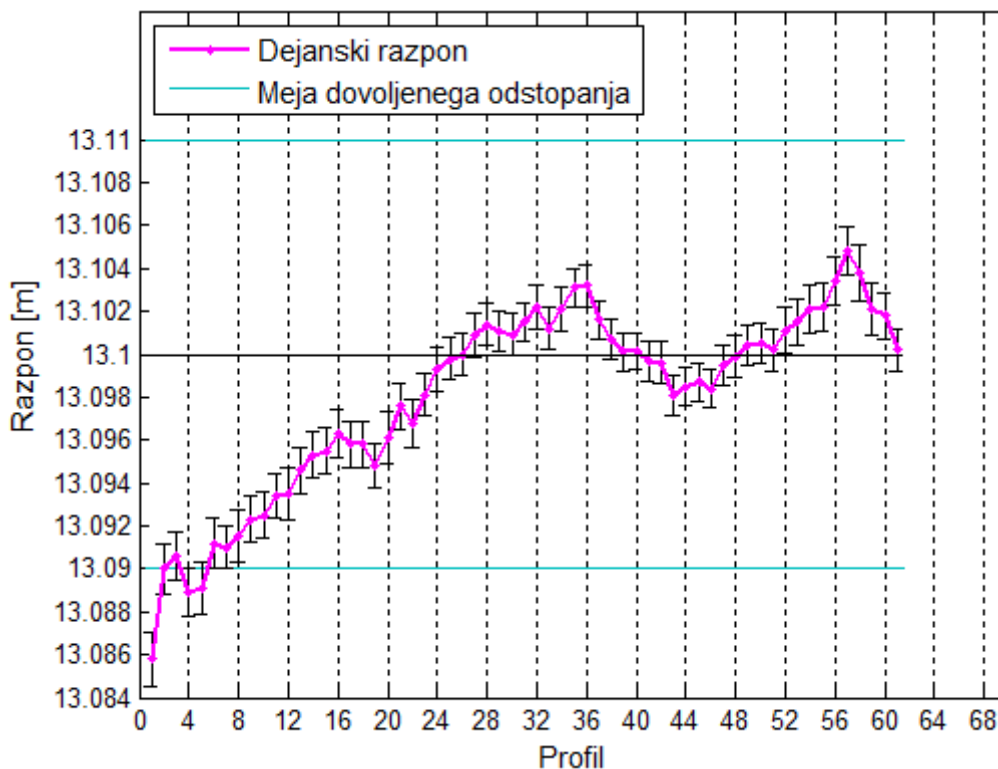
36	2,9	0,8	-0,3	0,6	13,1032	1,0	3,2	DA
37	1,9	0,7	0,3	0,6	13,1016	0,9	1,6	DA
38	1,3	0,7	0,6	0,6	13,1007	0,9	0,7	DA
39	1,1	0,6	1,0	0,7	13,1001	0,9	0,1	DA
40	0,8	0,6	0,8	0,6	13,1001	0,8	0,1	DA
41	-0,1	0,7	0,1	0,6	13,0997	0,9	-0,3	DA
42	-0,5	0,7	0,0	0,7	13,0996	1,0	-0,4	DA
43	-1,3	0,8	0,5	0,5	13,0981	0,9	-1,9	DA
44	-1,5	0,7	0,0	0,6	13,0985	0,9	-1,5	DA
45	-0,7	0,7	0,6	0,5	13,0987	0,9	-1,3	DA
46	-1,3	0,7	0,3	0,6	13,0984	0,9	-1,6	DA
47	-0,0	0,8	0,5	0,5	13,0995	0,9	-0,5	DA
48	0,2	0,8	0,3	0,6	13,0999	1,0	-0,1	DA
49	0,6	0,7	0,2	0,6	13,1004	0,9	0,4	DA
50	0,9	0,7	0,4	0,6	13,1005	0,9	0,5	DA
51	0,5	0,8	0,3	0,6	13,1002	1,0	0,2	DA
52	0,9	0,9	-0,2	0,6	13,1011	1,1	1,1	DA
53	1,2	0,9	-0,3	0,6	13,1015	1,1	1,5	DA
54	2,0	0,9	-0,2	0,6	13,1021	1,1	2,1	DA
55	2,3	0,9	0,2	0,7	13,1022	1,1	2,2	DA
56	2,2	0,9	-1,2	0,7	13,1034	1,1	3,4	DA
57	0,5	0,9	-4,3	0,7	13,1048	1,1	4,8	DA
58	-1,6	1,1	-5,4	0,7	13,1038	1,3	3,8	DA
59	-3,9	0,9	-6,0	0,8	13,1021	1,2	2,1	DA
60	-3,9	0,8	-5,7	0,7	13,1018	1,1	1,8	DA
61	-5,5	0,8	-5,7	0,6	13,1002	1,0	0,2	DA
Maks.	13,5		6,0				14,2	
Min.	0,0		0,0				0,0	
Povp.	2,7	0,8	1,9	0,7		1,0	3,4	

Iz slike 47 vidimo, da tirnici nista niti premočrtni niti paralelni. Opazimo, da so odmiki dolvodne tirnice v prvih profilih usmerjeni v smer proti gorvodni tirnici. Po približno desetih profilih pa so ti odmiki manjši in kažejo v nadaljevanju proge tudi v smer proti zunanosti proge. Odmiki gorvodne tirnice skoraj ves čas vzdolž žerjavne proge kažejo v smer proti dolvodni tirnici, le v zadnjih profilih je tirnica nekoliko bolj opazno odmaknjena v zunanost žerjavne proge glede na referenčno linijo. Natančnosti odmikov so na vsakem profilu različne, kakor tudi med karakterističnima točkama istega profila.



Slika 47: Položajni odmiki in natančnosti odmikov tirnic žerjavne proge HEK na osnovi metode TLS

Na sliki 48 je izrisan potek dejanskega razpona s pripadajočimi natančnostmi. Vidimo, da so razponi na prvem, četrtem in petem profilu zunaj meje dovoljenega odstopanja, ki jo dopušča standard. Razpona na drugem in tretjem profilu sta znotraj meje dopustnega, vendar ob upoštevanju natančnosti ugotovimo, da ne moremo zagotovo trditi, da razpona ležita znotraj mejne vrednosti, ki jo določa standard. Razponi na prvih petih profilih tako ne izpolnjujejo zahtev standarda, kar pomeni, da celotna žerjavna proga v horizontalnem smislu ni ustrezna. Tam, kjer je dejanski razpon manjši od projektirane vrednosti (13,1000 m), sta tirnici med sabo bolj skupaj glede na projektirani osi tirnic. Večji dejanski razpon od projektiranega pa pomeni, da sta tirnici bolj narazen od projektiranih osi tirnic. Natančnost razpona je skoraj identična na vseh profilih.



Slika 48: Razponi in natančnosti razponov med tirnicama žerjavne proge HEK na osnovi metode TLS

Preglednica 13 opisuje višinski potek žerjavne proge HEK na osnovi meritev s tehnologijo TLS. Poleg višinskih odmikov in višinskih razlik so na vsakem profilu določene tudi natančnosti višinskih odmikov $\sigma_{\Delta H}$ in natančnosti višinskih razlik $\sigma_{\Delta h_c}$. Iz preglednice vidimo, da so višinski odmiki dolvodne tirnice približno dve tretjini proge večji, zadnjo tretjino proge pa manjši od referenčnega višinskega nivoja. Višinski odmiki gorvodne tirnice pa so približno eno tretjino žerjavne proge večji od referenčnega nivoja, zadnji dve tretjini pa manjši. Povprečen višinski odmik je za obe tirnici skoraj identičen. Maksimalen višinski odmik gorvodne tirnice znaša 4,1 mm, dolvodne tirnice pa 5,2 mm. Povprečna natančnost višinskih odmikov je pri obeh tirnicah manjša od 1 mm. Višinske razlike med pripadajočimi karakterističnimi točkami so vzdolž proge velikosti nekaj milimetrov. Največja višinska razlika znaša 7,5 mm, povprečna pa 2,7 mm. Povprečna natančnost določitve višinskih razlik znaša 1,2 mm. Največja dovoljena višinska razlika po standardu znaša 21,8 mm, od katere v našem primeru odštejemo natančnost višinske razlike posameznega profila ter tako dobimo pravo mejno vrednost na posameznem profilu. Višinska razlika med pripadajočima karakterističnima točkama na nobenem profilu ne presega mejne vrednosti, ki je na vsakem profilu različna, saj je odvisna od natančnosti določitve višinske razlike. Na osnovi izračunov lahko zagotovo trdimo, da je žerjavna proga HEK v višinskem smislu ustrezna.

Preglednica 13: Vertikalni parametri žerjavne proge HEK na osnovi metode TLS

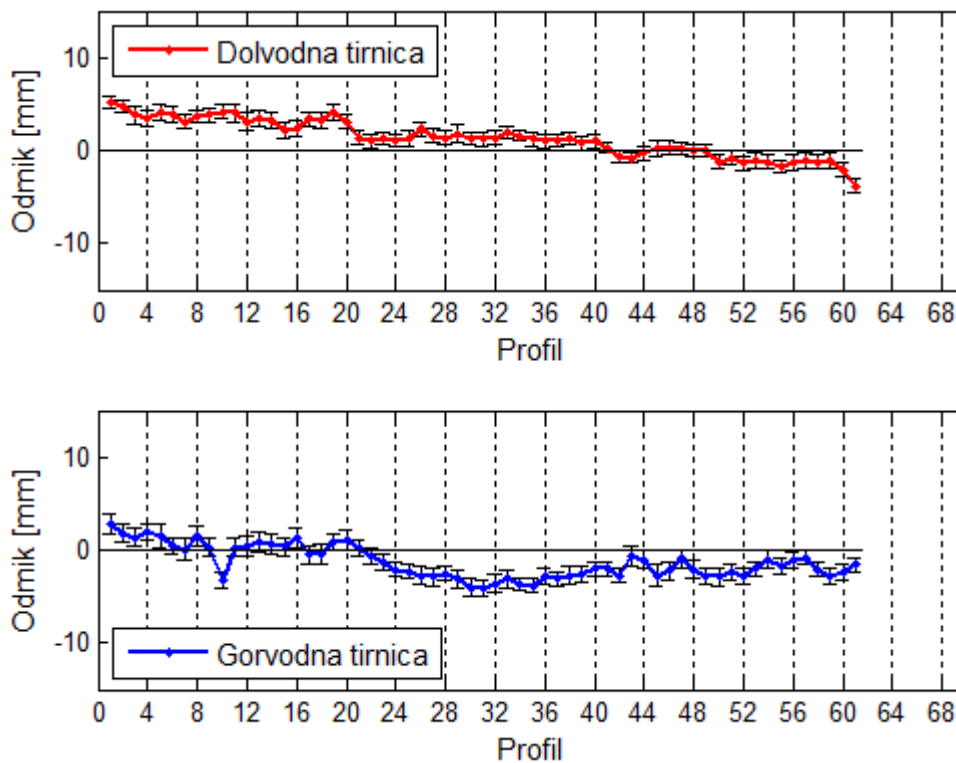
Profil	Odmik dolvodne tirnice		Odmik gorvodne tirnice		Višinska razlika		Ustreznost
	ΔH [mm]	$\sigma_{\Delta H}$ [mm]	ΔH [mm]	$\sigma_{\Delta H}$ [mm]	Δh_C [mm]	$\sigma_{\Delta h_C}$ [mm]	
1	5,2	0,6	2,8	1,1	2,4	1,3	DA
2	4,7	0,7	1,8	0,9	2,8	1,1	DA
3	3,8	1,0	1,4	0,9	2,5	1,3	DA
4	3,5	0,9	1,9	0,9	1,6	1,3	DA
5	4,1	0,9	1,5	1,2	2,6	1,5	DA
6	3,9	0,9	0,5	0,9	3,3	1,3	DA
7	3,1	0,8	0,1	1,1	3,0	1,4	DA
8	3,7	0,7	1,5	1,0	2,1	1,2	DA
9	3,8	0,8	0,3	1,0	3,4	1,3	DA
10	4,2	0,8	-3,3	0,9	7,5	1,2	DA
11	4,0	0,9	0,3	1,0	3,7	1,3	DA
12	3,1	0,9	0,4	1,1	2,7	1,4	DA
13	3,5	0,9	0,8	1,1	2,7	1,4	DA
14	3,2	0,8	0,6	1,1	2,6	1,4	DA
15	2,1	0,9	0,4	1,0	1,8	1,3	DA
16	2,4	0,8	1,3	1,0	1,1	1,3	DA
17	3,4	0,8	-0,5	1,0	4,0	1,3	DA
18	3,2	0,8	-0,5	1,1	3,7	1,4	DA
19	4,1	0,8	0,8	0,9	3,3	1,2	DA
20	3,1	0,8	1,1	1,0	1,9	1,3	DA
21	1,4	0,8	0,2	0,9	1,1	1,2	DA
22	1,0	0,8	-0,7	0,9	1,7	1,2	DA
23	1,3	0,7	-1,3	0,9	2,6	1,1	DA
24	1,1	0,7	-2,1	0,8	3,2	1,1	DA
25	1,3	0,8	-2,3	0,8	3,6	1,1	DA
26	2,3	0,7	-2,7	1,0	5,0	1,2	DA
27	1,6	0,8	-2,9	1,0	4,6	1,3	DA
28	1,4	0,8	-2,5	0,8	3,9	1,1	DA
29	1,8	0,9	-3,1	1,0	4,9	1,3	DA
30	1,3	0,7	-4,0	0,9	5,2	1,1	DA
31	1,2	0,8	-4,1	0,9	5,3	1,2	DA
32	1,4	0,7	-3,6	1,0	5,0	1,2	DA
33	2,0	0,6	-3,1	1,0	5,1	1,2	DA
34	1,6	0,6	-3,7	0,7	5,3	0,9	DA
35	1,2	0,7	-3,8	0,7	5,0	1,0	DA

36	1,0	0,7	-2,8	0,9	3,8	1,1	DA
37	1,1	0,7	-3,1	0,8	4,2	1,1	DA
38	1,3	0,7	-2,7	0,9	4,0	1,1	DA
39	0,8	0,7	-2,6	0,8	3,3	1,1	DA
40	1,0	0,7	-2,0	0,8	3,0	1,1	DA
41	0,3	0,6	-2,0	0,8	2,3	1,0	DA
42	-0,6	0,7	-2,7	0,7	2,2	1,0	DA
43	-0,8	0,6	-0,7	1,1	-0,1	1,3	DA
44	-0,3	0,7	-1,0	0,9	0,7	1,1	DA
45	0,2	0,8	-2,7	1,1	2,9	1,4	DA
46	0,3	0,8	-2,2	1,0	2,5	1,3	DA
47	0,2	0,7	-0,9	1,0	1,1	1,2	DA
48	-0,0	0,6	-2,1	1,0	2,1	1,2	DA
49	-0,0	0,6	-2,8	0,9	2,8	1,1	DA
50	-1,2	0,7	-2,9	0,9	1,7	1,1	DA
51	-0,8	0,7	-2,4	0,9	1,6	1,1	DA
52	-1,4	0,8	-2,8	0,9	1,3	1,2	DA
53	-1,1	0,8	-2,0	0,8	0,9	1,1	DA
54	-1,2	0,8	-1,0	0,9	-0,2	1,2	DA
55	-1,7	0,7	-1,7	0,9	-0,1	1,1	DA
56	-1,3	0,8	-1,1	0,9	-0,2	1,2	DA
57	-1,1	0,8	-0,8	0,8	-0,2	1,1	DA
58	-1,2	0,8	-2,1	0,7	0,9	1,1	DA
59	-1,1	0,9	-2,8	0,8	1,6	1,2	DA
60	-2,1	0,7	-2,4	0,8	0,3	1,1	DA
61	-3,8	0,8	-1,6	0,8	-2,1	1,1	DA
Maks.	5,2		4,1		7,5		
Min.	0,0		0,1		0,1		
Povp.	2,0	0,8	1,9	0,9	2,7	1,2	

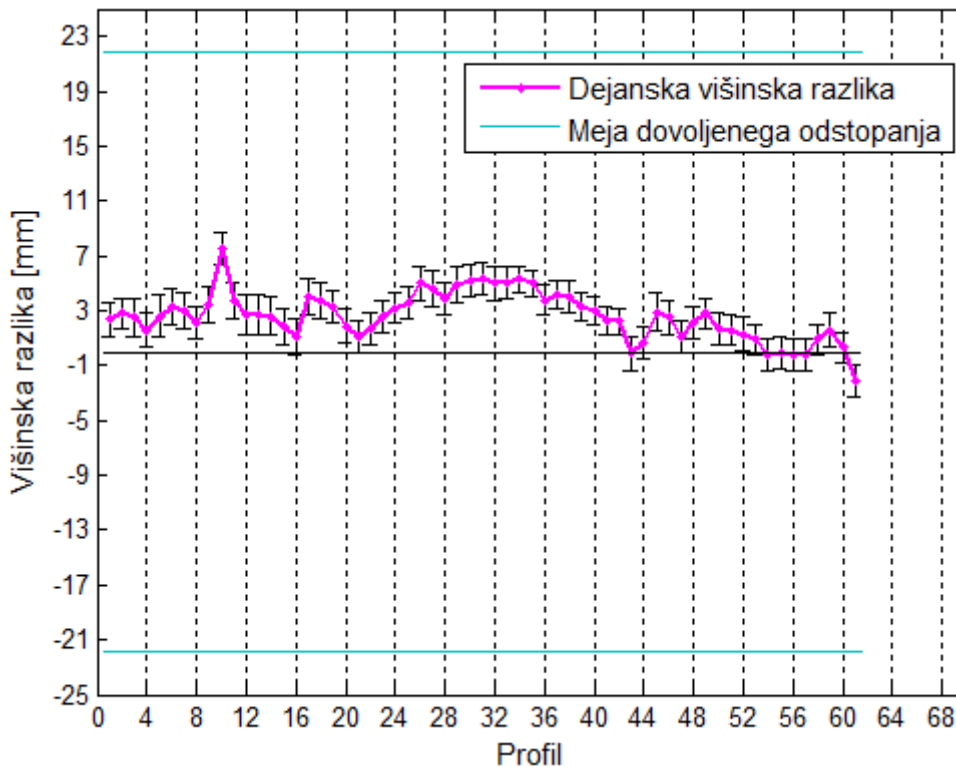
Slika 49 prikazuje višinske odmike obeh tirnic z natančnostmi. Opazimo, da je dolvodna tirnica ves čas vzdolž žerjavne proge na nekoliko višji nadmorski višini kot gorvodna tirnica. Natančnosti določitve višinskih odklovov karakterističnih točk so vzdolž proge skoraj enake.

Na sliki 50 so prikazane višinske razlike med pripadajočimi karakterističnimi točkami. Vidimo, da so vse višinske razlike s pripadajočimi natančnostmi znotraj meje dopustnega odstopanja, zato lahko zagotovo trdimo, da je žerjavna proga HEK v višinskem smislu skladna s standardom. Višinska razlika nam pove, ali sta tirnici na enaki nadmorski višini. Vidimo, da sta tirnici na profilih 43, 54, 55, 56 in

57 skoraj na enaki višini, kar pomeni, da se žerjav na tem delu proge giblje skoraj brez nagiba. Na ostalih profilih pa se žerjav giblje z rahlim nagibom proti gorvodni tirnici.



Slika 49: Višinski odmiki in natančnosti odmikov tirnic žerjavne proge HEK na osnovi metode TLS



Slika 50: Višinske razlike in natančnosti višinskih razlik med tirnicama žerjavne proge HEK na osnovi metode TLS

Izravnane koordinate in natančnosti karakterističnih točk se nahajajo v prilogi F.

6.1.3 Testiranje hipoteze 1

Testirali smo hipotezo, definirano v uvodu naloge, ki pravi, da je metoda TLS glede določitve parametrov geometrije tirnic žerjavne proge primerljiva s klasično polarno metodo detajlne izmere. Parametre geometrije proge, določene na osnovi ene metode izmere, smo izračunali neodvisno od druge metode izmere. Za zagotovitev ustrezne primerljivosti smo meritve obeh metod izmere transformirali v skupen lokalni koordinatni sistem žerjavne proge. Klasični polarni metodi detajlne izmere smo prilagodili določitev profilov, saj smo žerjavno proggo, izmerjeno z metodo TLS, namesto na 61 profilov v tem primeru razdelili na 34 profilov. Razmiki med profili so tako približno 1,8 m. Prav tako točki istega profila, ki ležita na levi in desni tirnici, nimata nujno enaka stacionaže, saj to zaradi polarne izmere ni možno zagotoviti. S prilagoditvijo razdelitve profilov metode TLS klasični polarni metodi detajlne izmere smo zagotovili, da profili obeh metod med sabo sovpadajo, in da so s tem karakteristične točke oziroma parametri geometrije tirnic žerjavne proge za obe metodi izmere določeni na sovpadajočih profilih obeh izmer. S tem, ko smo izpolnili določene zahteve, smo lahko korektno določili razlike položajnih odmikov $\Delta x'$, razlike višinskih odmikov $\Delta H'$, razlike razponov $\Delta s'$ in razlike višinskih razlik $\Delta h_C'$ med žerjavnima progama ene in druge metode izmere.

Iz preglednice 14 ugotovimo, da je razlika položajnih odmikov majhna in znaša v povprečju manj kot 1 mm, in sicer 0,6 mm tako v primeru gorvodne kot v primeru dolvodne tirnice. Povprečna razlika višinskih odmikov pa je večja od 1 mm, in sicer znaša v primeru dolvodne tirnice 1,8 mm, v primeru gorvodne tirnice pa 2,5 mm. Od 1. profila proti 18. oziroma 19. profilu se razlike višinskih odmikov manjšajo, nato pa se proti zadnjemu profilu ponovno večajo. Razlike dejanskih razponov so med obema metodama izmere majhne in se rahlo povečajo v zadnjih profilih žerjavne proge. Povprečna razlika razponov znaša 1,1 mm, največja razlika razponov pa 2,2 mm. Razlika razpona, ki ima pozitiven predznak, pomeni, da je razpon, ki je določen na osnovi metode TLS, večji od razpona, določenega s klasično polarno metodo detajlne izmere in obratno, negativna razlika razpona pomeni, da je razpon, določen na osnovi metode TLS, manjši od razpona, ki je določen s klasično polarno metodo detajlne izmere. Povprečna razlika višinskih razlik znaša 1 mm. V prvih profilih so te razlike nekoliko večje, nato pa manjše in padejo pod 1 mm. Pozitivna razlika višinske razlike pomeni, da je višinska razlika tirnic določena na osnovi metode TLS večja od višinske razlike tirnic, določene na osnovi klasično polarne metode detajlne izmere, in obratno, višinska razlika z negativnim predznakom pomeni, da je višinska razlika tirnic, določena na osnovi metode TLS, manjša od višinske razlike tirnic, ki je določena s klasično polarno metodo detajlne izmere.

Pri primerjavi natančnosti razponov, višinskih razlik in odmikov ugotovimo, da so razlike med natančnostmi obeh metod izmere zelo majhne, in sicer znašajo do 0,2 mm v prid klasične polarne metode detajlne izmere.

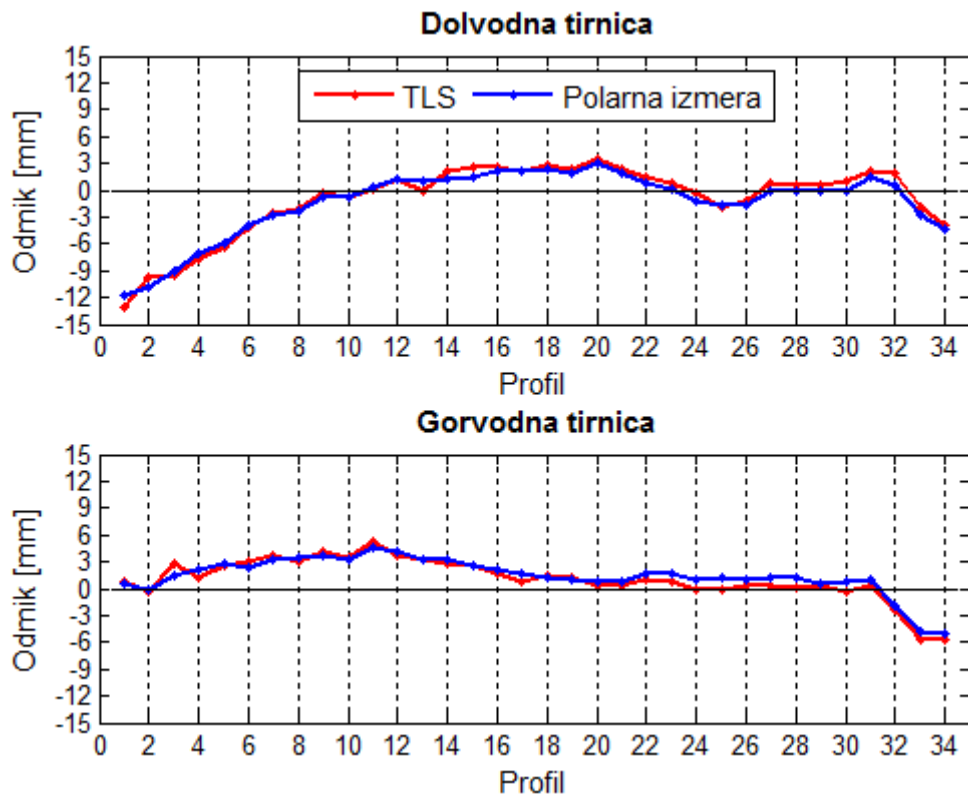
Na osnovi natančnosti parametrov geometrije iz prejšnjih dveh poglavij lahko določimo povprečno natančnost razlike položajnih odmikov, povprečno natančnost razlike višinskih odmikov, povprečno natančnost razlike razponov in povprečno natančnost razlike višinskih razlik. Povprečna natančnost razlike položajnega odmika dolvodne tirnice znaša 1,0 mm in gorvodne tirnice 0,9 mm, medtem ko povprečna natančnost razlike višinskega odmika dolvodne tirnice znaša 1,1 mm, gorvodne pa 1,2 mm. Povprečna natančnost razlike razponov je velikosti 1,3 mm, razlike višinskih razlik pa 1,6 mm.

Preglednica 14: Primerjava horizontalnih in vertikalnih parametrov geometrije žerjavne proge obeh metod izmere

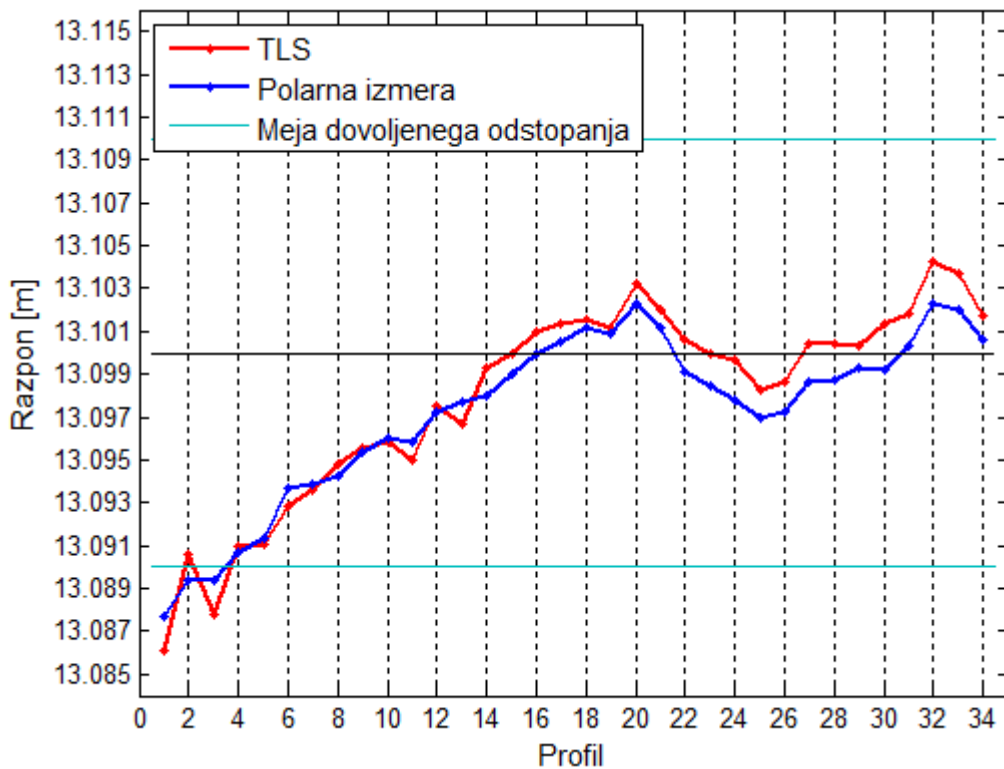
Profil	Primerjava odmika dolvodne tirnice		Primerjava odmika gorvodne tirnice		Primerjava razpona in višinske razlike	
	$\Delta x'$ [mm]	$\Delta H'$ [mm]	$\Delta x'$ [mm]	$\Delta H'$ [mm]	$\Delta s'$ [mm]	$\Delta h_C'$ [mm]
1	-1,4	3,5	0,2	5,9	-1,6	-2,4
2	1,1	2,8	-0,2	5,0	1,2	-2,2
3	-0,4	2,2	1,2	4,6	-1,6	-2,4
4	-0,5	2,7	-0,9	3,8	0,3	-1,2
5	-0,3	2,4	-0,1	4,7	-0,2	-2,3
6	-0,1	2,0	0,8	0,9	-0,9	1,1
7	0,2	1,6	0,6	2,8	-0,3	-1,2
8	0,3	1,5	-0,4	3,7	0,6	-2,1
9	0,5	0,7	0,3	2,9	0,2	-2,2
10	0,1	1,3	0,3	2,4	-0,2	-1,1
11	-0,1	1,4	0,7	3,0	-0,8	-1,5
12	-0,1	1,1	-0,4	2,3	0,3	-1,2
13	-0,9	1,1	0,1	1,5	-1,0	-0,5
14	0,9	0,9	-0,4	1,0	1,3	-0,1
15	1,1	0,6	0,1	0,6	1,0	0,0
16	0,4	0,5	-0,5	1,0	1,0	-0,4
17	0,0	0,4	-0,9	1,3	0,9	-0,9
18	0,4	-0,0	0,2	0,2	0,3	-0,2
19	0,5	-0,2	0,2	0,1	0,3	-0,3
20	0,5	-0,0	-0,5	-0,9	0,9	1,0
21	0,4	-0,2	-0,4	-0,7	0,8	0,5
22	0,7	-1,0	-0,7	-0,3	1,5	-0,7

23	0,7	-1,0	-0,9	-1,2	1,5	0,2
24	0,8	-1,7	-1,0	-2,5	1,9	0,7
25	0,0	-1,4	-1,3	-2,4	1,3	1,0
26	0,6	-1,5	-0,8	-2,6	1,4	1,0
27	1,0	-2,3	-0,8	-1,5	1,8	-0,8
28	0,6	-2,8	-1,1	-2,7	1,7	-0,1
29	0,7	-2,8	-0,3	-2,6	1,0	-0,2
30	1,1	-2,7	-1,1	-3,2	2,2	0,5
31	0,7	-3,5	-0,8	-3,8	1,5	0,3
32	1,4	-3,8	-0,6	-4,6	2,0	0,9
33	1,0	-4,4	-0,7	-5,4	1,7	0,9
34	0,5	-4,5	-0,6	-4,0	1,1	-0,5
Maks.	1,4	4,5	1,3	5,9	2,2	2,4
Min.	0,0	0,0	0,1	0,1	0,2	0,0
Povp.	0,6	1,8	0,6	2,5	1,1	1,0

Na sliki 51 je grafično prikazana primerjava položajnih odmikov. Vidimo, da je potek žerjavne proge, določene s TLS metodo, in potek žerjavne proge, določene s klasično polarno metodo detajlne izmere, v horizontalnem smislu skoraj identičen. V prvih profilih obeh tirnic so položajni odmiki obeh metod skoraj identični. V zadnjih profilih dolvodne tirnice pa so odmiki TLS metode rahlo večji od odmikov klasične polarne metode detajlne izmere, medtem ko so v zadnjih profilih gorvodne tirnice odmiki TLS metode rahlo manjši od odmikov klasične polarne metode detajlne izmere. Posledica tega je, kakor vidimo na sliki 52, da je razlika razponov med metodama pri zadnjih profilih proge nekoliko večja kot razlika razponov pri prvi polovici profilov. Vidimo, da je razpon proge določen na osnovi metode TLS od 14. profila naprej ves čas večji od razpona, določenega s klasično polarno metodo detajlne izmere.

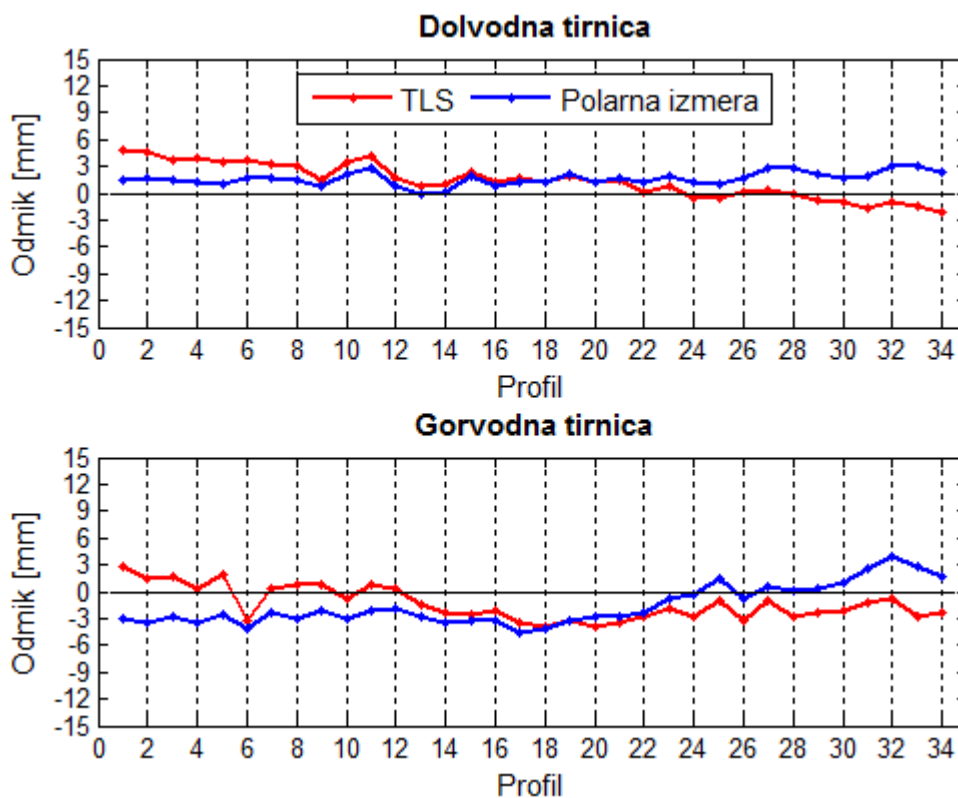


Slika 51: Primerjava položajnih odmikov

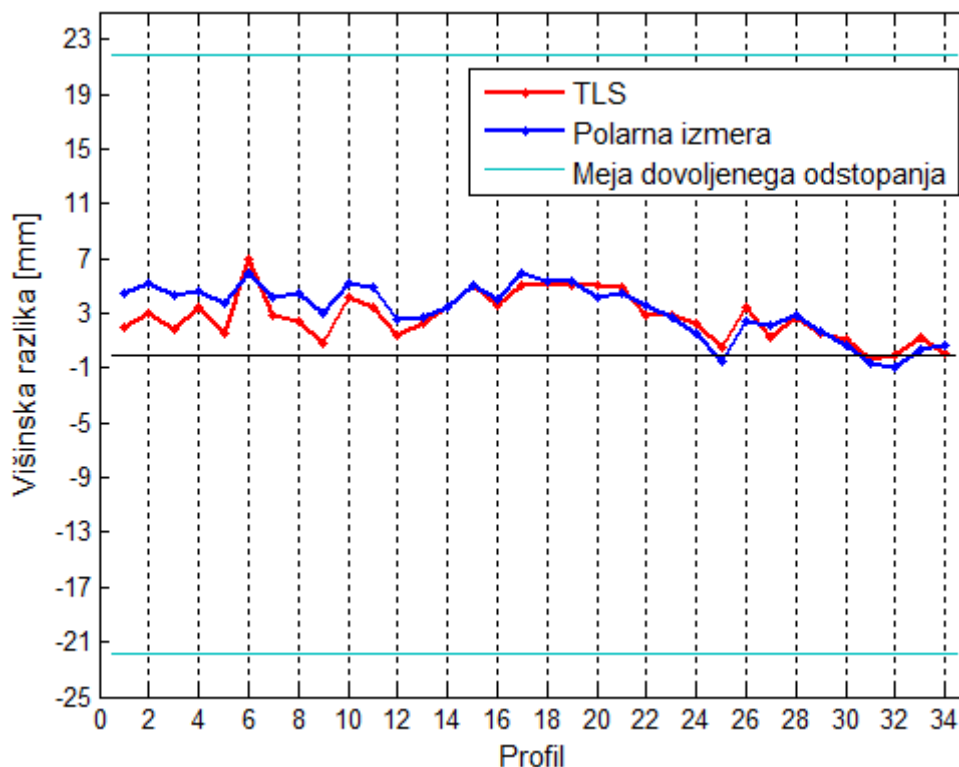


Slika 52: Primerjava razponov med tirnicama

Na sliki 53 je grafično predstavljena primerjava višinskih odmikov obeh metod izmere. Opazimo lahko, da pride do zanimive situacije, ko je višinski potek za obe metodi zelo podoben, vendar se med njima pojavi določen zamik. V prvi polovici profilov obeh tirnic je višina proge, ki je določena s TLS metodo, večja od višine, določene s klasično polarno metodo detajlne izmere. Na sredini žerjavne proge pa pride do obratne situacije in je višina žerjavne proge, ki je določena s klasično polarno metodo detajlne izmere večja od višine proge, določene s TLS metodo. Bolj ko gremo od sredine proge proti začetku ali koncu žerjavne proge, večja je tudi razlika višinskih odmikov med obema metodama. Na sliki 54 vidimo, da ima proga v primeru klasične polarne metode detajlne izmere do 13. profila večinoma večjo višinsko razliko tirnic kot proga, določena s TLS metodo. Od 13. profila naprej pa sta višinski razliki tirnic obeh metod skoraj identični.



Slika 53: Primerjava višinskih odmikov



Slika 54: Primerjava višinskih razlik med tirnicama

Z rezultati izračunov, ki so predstavljeni v preglednici 14 in grafično prikazani na slikah 51, 52, 53 in 54 smo dokazali, da so razlike horizontalnih in višinskih parametrov geometrije tirnic žerjavne proge med obema metodama izmere dovolj majhne, da lahko potrdimo prvo hipotezo.

6.2 Žerjavna proga TEB

Projektirani razpon med osema tirnic žerjavne proge TEB znaša 19,3000 m. Projektirana vrednost je določena med osema obeh tirnic, zato smo temu morali prilagoditi tudi dejanski razpon tako, da smo ga podaljšali za širino zgornje ploskve glave tirnice, saj smo ga računali med notranjim zgornjim robom južne tirnice in notranjim zgornjim robom severne tirnice oziroma med stranskima notranjima ploskvama glav obeh tirnic. Razlika med dejanskim in projektiranim razponom mora biti enaka ali manjša od 10 mm, kar pomeni, da mora biti dejanski razpon žerjavne proge TEB ob neupoštevanju natančnosti razpona na posameznem profilu med vrednostma 19,2900 m in 19,3100 m, da lahko trdimo, da je proga ustrezna s standardom. Ob upoštevanju natančnosti razpona, ki je na vsakem profilu različna, je interval dopustnosti razpona manjši za vrednost velikosti natančnosti. Na osnovi projektiranega razpona določimo tudi največjo dovoljeno višinsko razliko med tirnicama na posameznem profilu, ki v primeru proge TEB ob neupoštevanju natančnosti določitve višinske razlike znaša 32,2 mm. Ob upoštevanju natančnosti pa je največja dovoljena višinska razlika manjša za vrednost natančnosti višinske razlike. Profile smo začeli označevati na strani, kjer se nahaja dostop na

žerjavno progo, in kjer je tudi stojišče skenerja. Zadnji profil proge se tako nahaja na nasprotni strani dostopa. Vsako tirnico proge smo razdelili na 47 segmentov dolžine 1 m, kar posledično pomeni, da ima proga 47 profilov, ki so v razmiku 1 m. S takšno razdelitvijo smo na vsakem metru proge določili njeno geometrijo. Najprej smo preverili ali žerjavna proga položajno in višinsko ustreza pogojem, ki jih navaja standard.

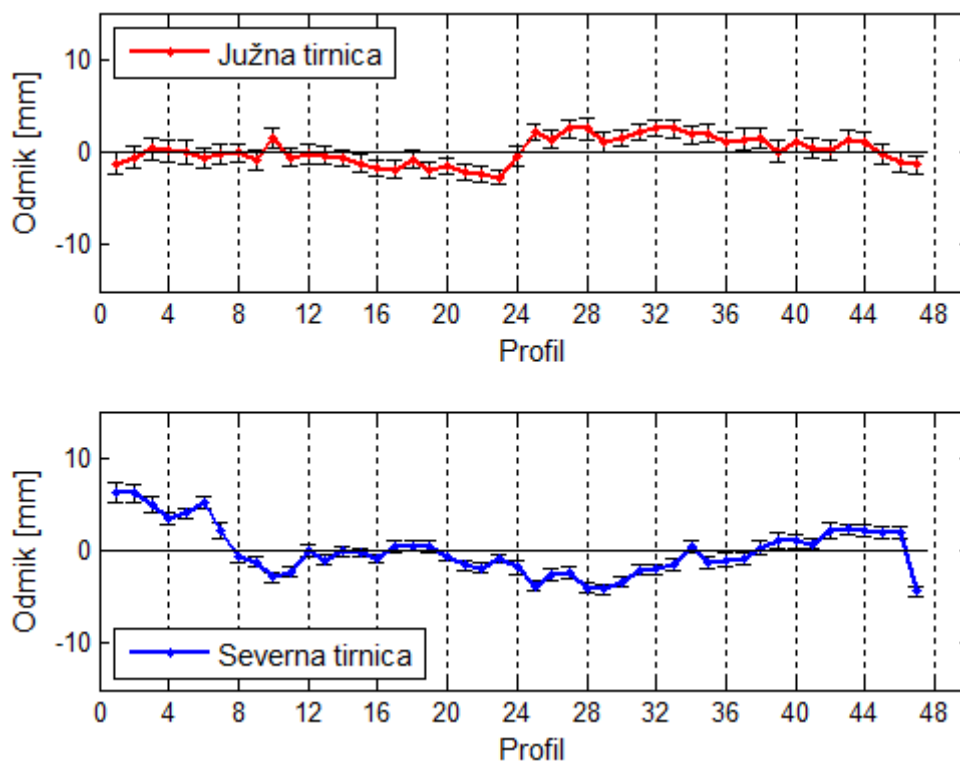
Preglednica 15 prikazuje položajne odmike in dejanske razpone s pripadajočimi natančnostmi. Vidimo, da so položajni odmiki južne tirnice majhni in v povprečju velikosti 1,2 mm ter povprečne natančnosti 1,0 mm. Odmiki severne tirnice so nekoliko večji od odmikov južne tirnice, in sicer v povprečju za približno 1 mm, vendar imajo boljšo povprečno natančnost, ki je manjša od 1 mm. Severna tirnica ima večje odmike od njene referenčne linije predvsem v prvem delu proge, kjer doseže tirnica tudi maksimalen odklik 6,3 mm. Ti odmiki severne tirnice so nato v nadaljevanju proge manjši. Vidimo, da je zadnji položajni odklik severne tirnice nekoliko večji, saj je bilo zaradi geometrije skeniranja zadnjih 0,3 m stranske notranje ploskve glave tirnice med filtriranjem težko prepoznati, in zato morda ta del ni najbolj točno filtriran, kar posledično vpliva na določitev položaja tirnice. Pri pregledu razponov ugotovimo, da največja razlika med projektiranim in dejanskim razponom znaša 7,5 mm, povprečna pa 2,6 mm. Povprečna natančnost določitve razponov je nekoliko večja od 1 mm. Tirnici žerjavne proge sta na profilih, ki imajo negativno razliko razponov bolj skupaj, kot bi morali biti glede na projektirano vrednost, medtem ko sta na profilih, ki imajo pozitivno razliko razponov bolj narazen, kot to dopušča projektna dokumentacija. Ugotovimo, da so vsi razponi z upoštevanjem natančnosti znotraj meje dovoljenega odstopanja, zato lahko zagotovo trdimo, da je žerjavna proga TEB v horizontalnem smislu ustrezna.

Preglednica 15: Horizontalni parametri žerjavne proge TEB

Profil	Odklik južne tirnice		Odklik severne tirnice		Razpon			Ustreznost
	Δx [mm]	$\sigma_{\Delta x}$ [mm]	Δx [mm]	$\sigma_{\Delta x}$ [mm]	s_d [m]	σ_{s_d} [mm]	Δs [mm]	
1	-1,2	1,2	6,3	1,1	19,2925	1,6	-7,5	DA
2	-0,6	1,2	6,2	1,0	19,2932	1,6	-6,8	DA
3	0,4	1,2	5,0	0,9	19,2953	1,5	-4,7	DA
4	0,2	1,2	3,5	0,7	19,2967	1,4	-3,3	DA
5	0,0	1,2	4,0	0,6	19,2961	1,3	-3,9	DA
6	-0,6	1,1	5,2	0,7	19,2941	1,3	-5,9	DA
7	-0,3	1,1	2,2	0,9	19,2975	1,4	-2,5	DA
8	-0,1	1,0	-0,7	0,6	19,3006	1,2	0,6	DA
9	-0,9	1,1	-1,2	0,6	19,3003	1,3	0,3	DA
10	1,5	1,1	-2,9	0,5	19,3044	1,2	4,4	DA
11	-0,6	1,0	-2,3	0,6	19,3017	1,2	1,7	DA

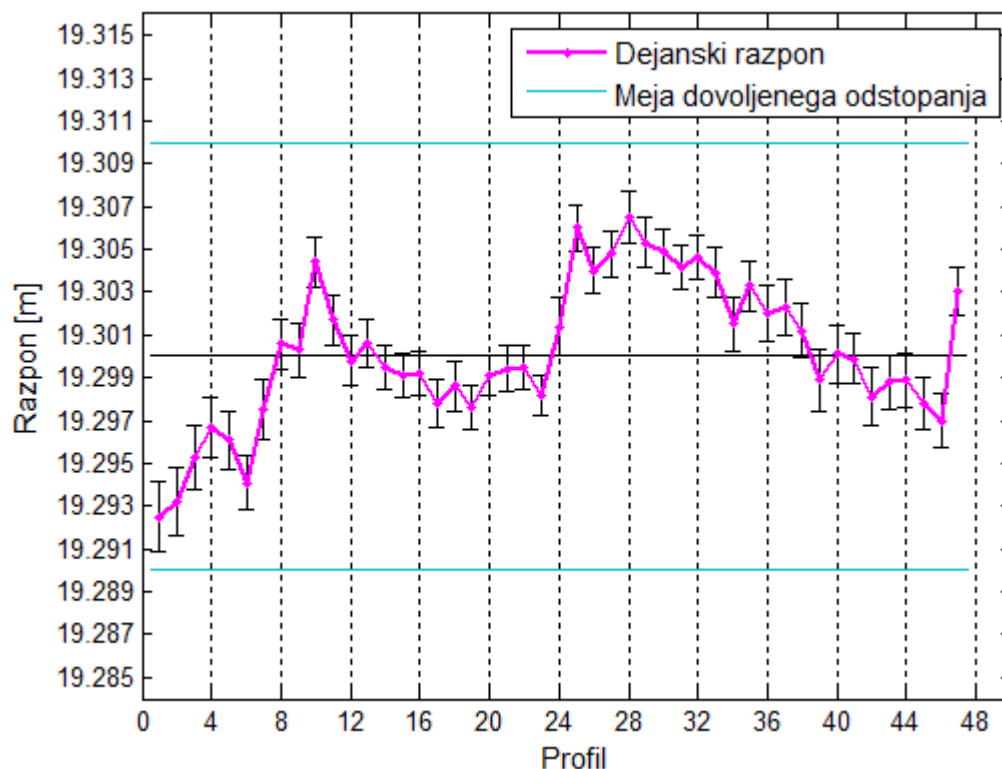
12	-0,2	1,0	-0,0	0,6	19,2998	1,2	-0,2	DA
13	-0,4	1,0	-1,0	0,5	19,3006	1,1	0,6	DA
14	-0,6	0,9	-0,1	0,5	19,2995	1,0	-0,5	DA
15	-1,2	0,9	-0,2	0,5	19,2991	1,0	-0,9	DA
16	-1,7	0,9	-0,9	0,5	19,2992	1,0	-0,8	DA
17	-1,9	1,0	0,4	0,6	19,2978	1,2	-2,2	DA
18	-0,8	1,0	0,5	0,6	19,2986	1,2	-1,4	DA
19	-1,9	0,8	0,4	0,6	19,2976	1,0	-2,4	DA
20	-1,5	0,8	-0,6	0,5	19,2991	0,9	-0,9	DA
21	-2,2	0,9	-1,6	0,6	19,2994	1,1	-0,6	DA
22	-2,4	0,9	-1,9	0,5	19,2995	1,0	-0,5	DA
23	-2,7	0,8	-0,9	0,5	19,2982	0,9	-1,8	DA
24	-0,4	1,1	-1,8	0,8	19,3014	1,4	1,4	DA
25	2,2	0,9	-3,8	0,6	19,3060	1,1	6,0	DA
26	1,4	0,9	-2,6	0,6	19,3040	1,1	4,0	DA
27	2,5	0,9	-2,4	0,6	19,3048	1,1	4,8	DA
28	2,5	1,1	-4,0	0,6	19,3065	1,3	6,5	DA
29	1,1	1,0	-4,2	0,6	19,3053	1,2	5,3	DA
30	1,5	0,9	-3,4	0,5	19,3049	1,0	4,9	DA
31	2,1	0,9	-2,1	0,5	19,3042	1,0	4,2	DA
32	2,6	0,9	-2,0	0,5	19,3046	1,0	4,6	DA
33	2,5	1,0	-1,5	0,6	19,3039	1,2	3,9	DA
34	1,9	1,0	0,4	0,7	19,3015	1,2	1,5	DA
35	2,0	1,0	-1,3	0,6	19,3033	1,2	3,3	DA
36	1,0	1,1	-1,0	0,7	19,3020	1,3	2,0	DA
37	1,4	1,1	-0,9	0,7	19,3023	1,3	2,3	DA
38	1,5	1,0	0,3	0,8	19,3012	1,3	1,2	DA
39	0,1	1,2	1,1	0,8	19,2989	1,4	-1,1	DA
40	1,1	1,2	1,0	0,7	19,3001	1,4	0,1	DA
41	0,5	1,1	0,7	0,5	19,2999	1,2	-0,1	DA
42	0,3	1,1	2,2	0,8	19,2981	1,4	-1,9	DA
43	1,2	1,1	2,3	0,6	19,2988	1,3	-1,2	DA
44	1,1	1,1	2,2	0,6	19,2989	1,3	-1,1	DA
45	-0,2	1,0	1,9	0,7	19,2978	1,2	-2,2	DA
46	-1,1	1,1	1,9	0,7	19,2970	1,3	-3,0	DA
47	-1,4	1,0	-4,4	0,5	19,3030	1,1	3,0	DA
Maks.	2,7		6,3				7,5	
Min.	0,0		0,0				0,1	
Povp.	1,2	1,0	2,1	0,6		1,2	2,6	

Slika 55 prikazuje horizontalni potek žerjavne proge, kjer lahko opazimo, da tirnici nista paralelni, kakor tudi ne premočrtni. Odmiki južne tirnice so v prvem delu proge majhni in povečini usmerjeni proti severni tirnici, medtem ko v zadnjem delu proge povečini kažejo v smer proti zunanosti proge. Odmiki severne tirnice so v prvih sedmih profilih usmerjeni proti južni tirnici, nato pa so vzdolž proge usmerjeni tudi v zunanost proge glede na referenčno linijo tirnice. Vidimo tudi lahko, da so položajni odmiki severne tirnice določeni z nekoliko višjo natančnostjo kot odmiki južne tirnice.



Slika 55: Položajni odmiki in natančnosti odmikov tirnic žerjavne proge TEB

Na sliki 56 so izrisani dejanski razponi skupaj z natančnostmi na posameznih profilih. Vidimo, da so vsi razponi skupaj z natančnostmi znotraj meje dovoljenega odstopanja. Dejanski razpon je približno polovico proge večji od projektirane vrednosti, polovico proge pa manjši. Natančnost razpona je približno enaka na vseh profilih.



Slika 56: Razponi in natančnosti razponov med tirnicama žerjavne proge TEB

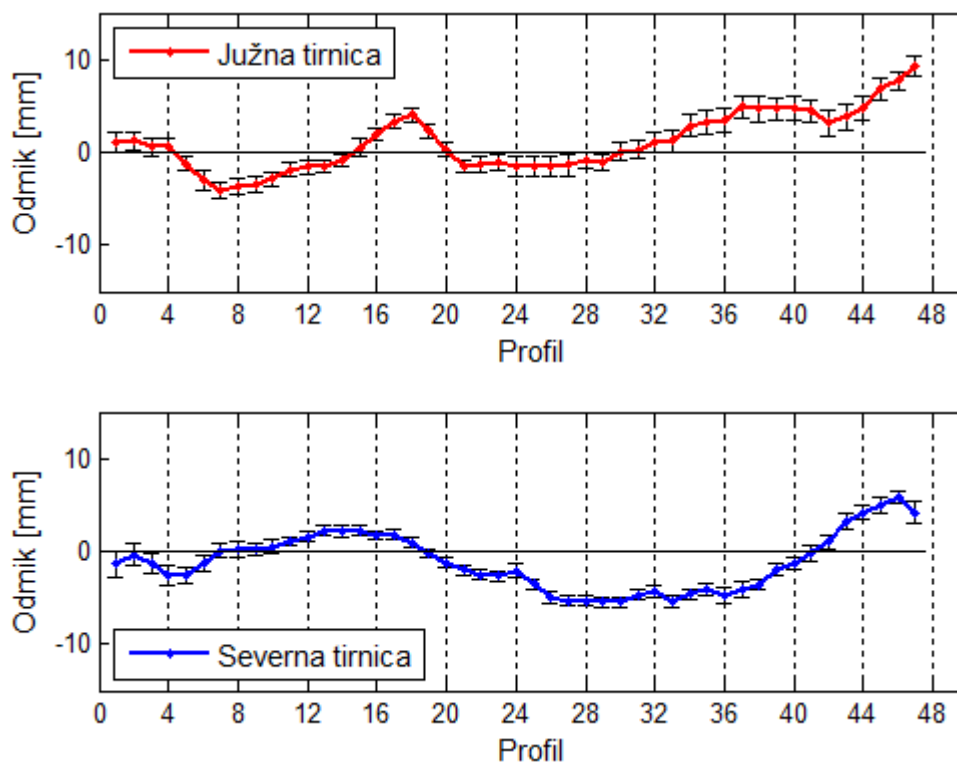
V preglednici 16 so prikazani parametri, na osnovi katerih opišemo višinski potek žerjavne proge TEB. Vidimo, da so višinski odmiki južne tirnice v povprečju velikosti 2,6 mm, ki so v zadnjem delu proge od višinske referenčne ploskve žerjavne proge nekoliko večji in dosežejo v zadnjem profilu odklik 9,2 mm. Povprečna natančnost višinskih odklikov južne tirnice znaša 1,0 mm, medtem ko so višinski odkliki severne tirnice določeni z nekoliko višjo natančnostjo. Višinski odkliki severne tirnice so v prvem delu proge majhni, medtem ko so v zadnjem delu proge nekoliko večji. Negativni višinski odkliki pomenijo, da je tirnica nižje od referenčne ploskve, medtem ko pozitivni odkliki pomenijo, da je tirnica višje od višinske referenčne ploskve proge. Vidimo, da je višinska razlika med tirnicama relativno majhna, saj v povprečju znaša 3,5 mm. Največjo višinsko razliko ima proga na 37 profilu, ko ta znaša 9,0 mm. Natančnost določitve višinske razlike znaša 1,2 mm. Pri pregledu višinskih razlik in natančnosti ugotovimo, da višinska razlika skupaj z natančnostjo na nobenem profilu ne preseže največje dovoljene višinske razlike, ki se na vsakem profilu nekoliko razlikuje, saj je višinska razlika na vsakem profilu določena z drugačno natančnostjo. Za žerjavno progo TEB tako lahko zagotovo trdimo, da je v višinskem smislu ustrezna.

Preglednica 16: Vertikalni parametri žerjavne proge TEB

Profil	Odmik južne tirnice		Odmik severne tirnice		Višinska razlika		Ustreznost
	ΔH [mm]	$\sigma_{\Delta H}$ [mm]	ΔH [mm]	$\sigma_{\Delta H}$ [mm]	Δh_c [mm]	$\sigma_{\Delta h_c}$ [mm]	
1	1,1	1,0	-1,4	1,4	2,4	1,7	DA
2	1,2	1,0	-0,4	1,2	1,6	1,6	DA
3	0,6	1,0	-1,3	1,1	1,9	1,5	DA
4	0,7	0,8	-2,6	1,0	3,3	1,3	DA
5	-1,2	0,8	-2,6	0,8	1,4	1,1	DA
6	-3,0	1,0	-1,3	0,8	-1,7	1,3	DA
7	-4,1	0,9	0,1	0,8	-4,3	1,2	DA
8	-3,7	0,8	0,2	0,9	-4,0	1,2	DA
9	-3,5	0,9	0,2	0,7	-3,8	1,1	DA
10	-2,9	0,8	0,5	0,7	-3,4	1,1	DA
11	-1,9	0,8	1,1	0,5	-3,0	0,9	DA
12	-1,6	0,7	1,6	0,6	-3,1	0,9	DA
13	-1,5	0,7	2,2	0,5	-3,7	0,9	DA
14	-0,9	0,6	2,2	0,6	-3,1	0,8	DA
15	0,5	0,9	2,2	0,5	-1,6	1,0	DA
16	1,9	0,7	1,7	0,5	0,2	0,9	DA
17	3,3	0,7	1,8	0,5	1,5	0,9	DA
18	4,0	0,7	0,9	0,5	3,1	0,9	DA
19	2,3	0,7	-0,2	0,5	2,6	0,9	DA
20	0,3	0,7	-1,2	0,6	1,5	0,9	DA
21	-1,5	0,7	-2,0	0,5	0,5	0,9	DA
22	-1,3	0,9	-2,5	0,5	1,2	1,0	DA
23	-1,1	0,9	-2,7	0,5	1,6	1,0	DA
24	-1,6	1,1	-2,1	0,7	0,6	1,3	DA
25	-1,5	1,0	-3,5	0,5	2,0	1,1	DA
26	-1,6	1,1	-5,0	0,7	3,4	1,3	DA
27	-1,4	1,1	-5,3	0,6	3,9	1,3	DA
28	-0,9	0,8	-5,3	0,6	4,4	1,0	DA
29	-1,1	0,9	-5,5	0,5	4,4	1,0	DA
30	0,1	0,9	-5,5	0,6	5,7	1,1	DA
31	0,3	0,9	-4,7	0,5	5,0	1,0	DA
32	1,0	1,1	-4,3	0,6	5,4	1,3	DA
33	1,2	1,2	-5,4	0,6	6,6	1,3	DA
34	2,9	1,2	-4,6	0,5	7,5	1,3	DA
35	3,3	1,3	-4,1	0,6	7,3	1,4	DA

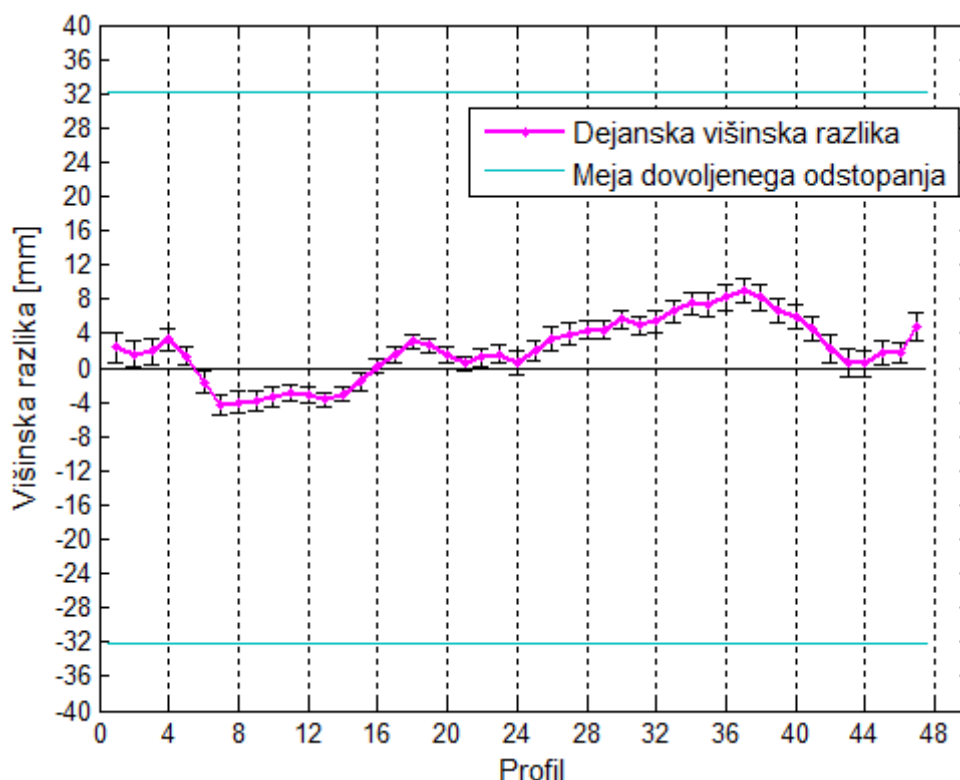
36	3,4	1,3	-4,7	0,9	8,2	1,6	DA
37	4,9	1,2	-4,1	0,8	9,0	1,4	DA
38	4,7	1,4	-3,6	0,6	8,2	1,5	DA
39	4,7	1,2	-2,0	0,7	6,6	1,4	DA
40	4,7	1,3	-1,3	0,7	6,0	1,5	DA
41	4,5	1,2	-0,2	0,8	4,6	1,4	DA
42	3,2	1,4	1,0	0,8	2,2	1,6	DA
43	3,8	1,4	3,2	0,8	0,6	1,6	DA
44	4,7	1,3	4,2	0,7	0,5	1,5	DA
45	6,8	1,1	5,0	0,8	1,7	1,4	DA
46	7,7	1,0	5,8	0,7	1,8	1,2	DA
47	9,2	1,1	4,2	1,2	4,9	1,6	DA
Maks.	9,2		5,8		9,0		
Min.	0,1		0,1		0,2		
Povp.	2,6	1,0	2,7	0,7	3,5	1,2	

Slika 57 prikazuje višinske odmike severne in južne tirnice od referenčnega nivoja. Vidimo, da je južna tirnica približno tri četrtine proge na višji višini kakor severna tirnica. Prav tako lahko opazimo, da ima severna tirnica nekoliko višjo natančnost višinskih odmikov kot južna tirnica, in da so te natančnosti nekoliko višje v srednjem delu proge, kakor pa na začetku in koncu proge.



Slika 57: Višinski odmiki in natančnosti odmikov tirnic žerjavne proge TEB

Na sliki 58 so prikazane višinske razlike med tirnicama po posameznih profilih. Opazimo, da so vse višinske razlike z natančnostmi znotraj meje dovoljenega odstopanja. Vidimo, da je višinska razlika med tirnicama relativno majhna. Na 25. profilu se višinska razlika začne rahlo povečevati in doseže največjo vrednost na 37. profilu, nato pa se ponovno zmanjšuje. Negativna višinska razlika pomeni, da je severna tirnica na višji nadmorski višini kot južna tirnica. Od 6. do 15. profila se žerjav giblje z rahlim nagibom proti južni tirnici, v ostalih profilih pa z nagibom proti severni tirnici. Višinske razlike so na sredini proge določene z nekoliko boljšo natančnostjo kot na začetku in na koncu žerjavne proge.



Slika 58: Višinske razlike in natančnosti višinskih razlik med tirnicama žerjavne proge TEB

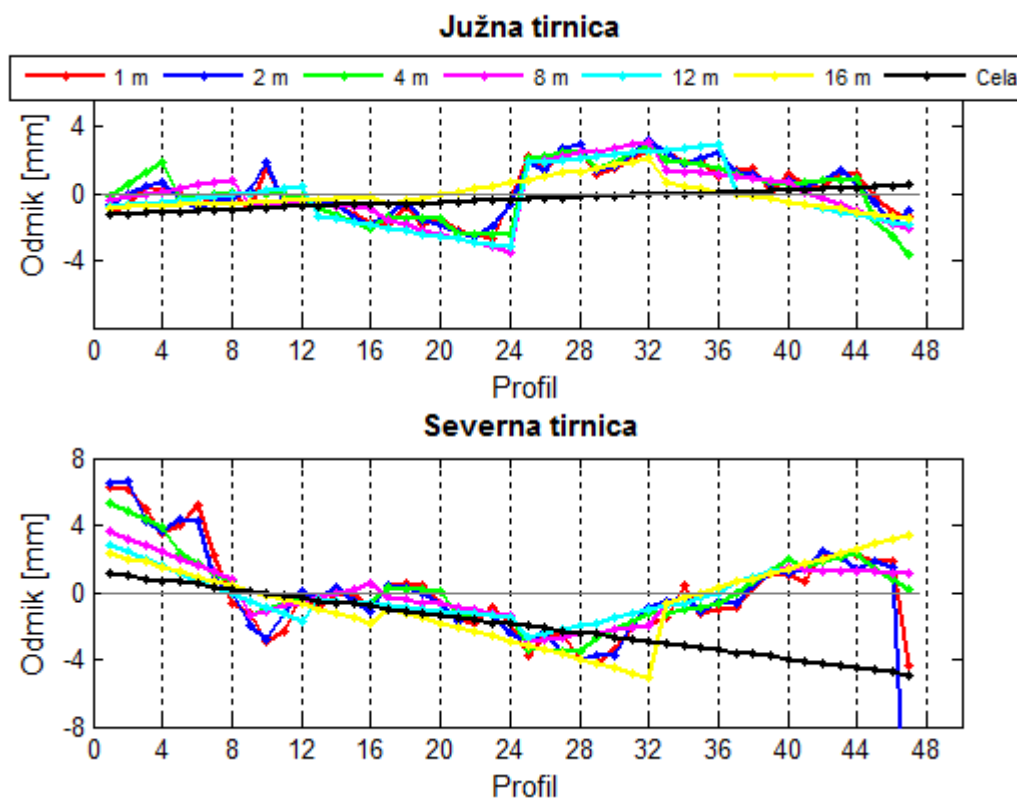
Izravnane koordinate in natančnosti karakterističnih točk se nahajajo v prilogi G.

6.2.1 Testiranje hipoteze 2

Pri testiranju druge hipoteze smo ugotavljali, kako dolžina segmenta tirnice vpliva na odmike, razpore in višinske razlike med tirnicama proge. Raziskali smo, do katere dolžine segmenta so horizontalni in vertikalni parametri še ustrezno prepoznani, da lahko zagotovo trdimo, da proga izpolnjuje ali ne izpolnjuje zahtev standarda. Žerjavno progo smo sedemkrat razdelili na segmente različnih dolžin. Najprej smo progo razdelili, tako kot v prejšnjem primeru, na segmente dolžine 1 m, ki nam predstavlja referenco. Nato pa smo tirnici razdelili še na segmente dolžin 2 m, 4 m, 8 m, 12 m, 16 m in

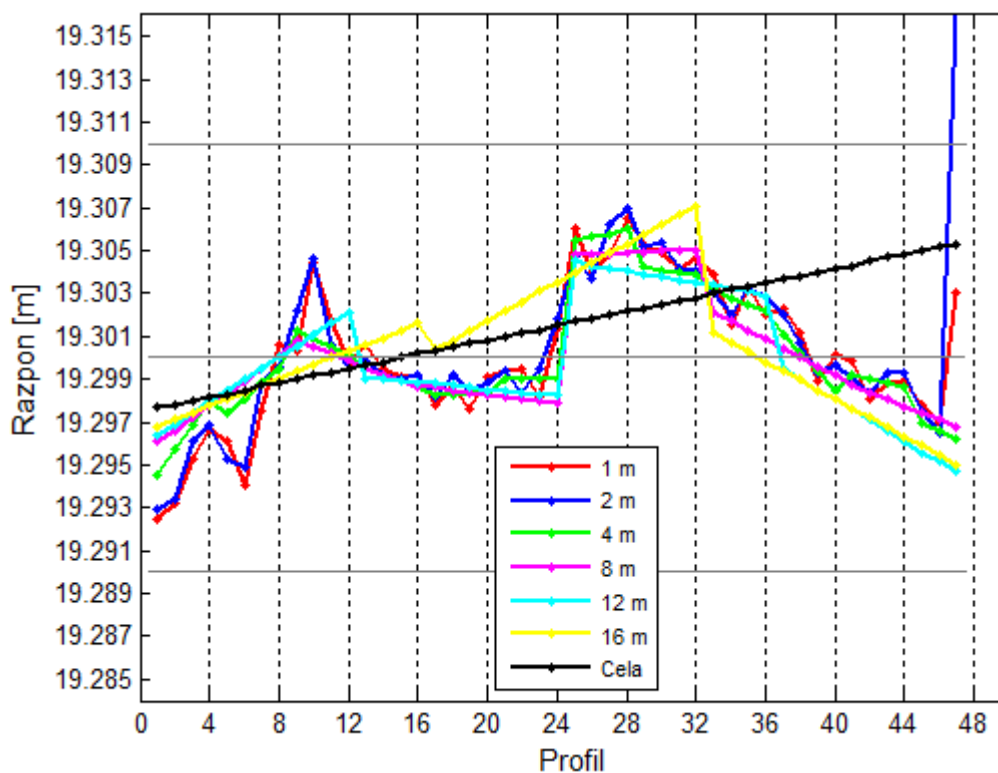
na koncu še na segment dolžine celotne tirnice, kar pomeni, da smo celotno tirnico izravnali naenkrat brez razdelitve na segmente. V primeru dolžine 2 m je bila posamezna tirnica razdeljena na 24 segmentov, pri 4 m na 12 segmentov, pri 8 m na 6 segmentov, pri 12 m na 4 segmente, pri 16 m na 3 segmente in pri celotni dolžini tirnice, kot že rečeno, na en segment. V vseh primerih razdelitve smo progo razdelili na 47 profilov z razmikom 1 m. V nadaljevanju smo grafično predstavili rezultate, medtem ko se numerične vrednosti nahajajo v prilogi H.

Na sliki 59 so prikazani položajni odmiki južne in severne tirnice od njenih referenčnih linij za vseh šest poljubno izbranih situacij ter za referenčno situacijo. Vidimo, da je v primeru, ko je dolžina segmenta 2 m, položajni odklik severne tirnice na zadnjem profilu precej velik ($-19,4$ mm), kar je posledica geometrije skeniranja in s tem netočnega filtriranja oziroma težje prepoznave zadnjega 0,3 m stranske ploskve tirnice. Prav tako je ta odklik nekoliko večji pri dolžini 1 m, kot smo to analizirali že v prejšnjem poglavju. Ugotovimo lahko, da teh zadnjih 30 cm pade v celotni zadnji 2 m segment, medtem ko za ostale situacije to ne velja in se ta napaka izniči. Vidimo, da je potek proge najbolj točno določen, ko je segment dolžine 1 m in 2 m. Pri situacijah 4 m, 8 m, 12 m in v določenih primerih tudi pri 16 m odmiki kažejo pravo smer, vendar niso določeni dovolj detajlno. Večja kot je dolžina segmenta, manj detajlno so določeni odmiki. V situaciji, ko tirnica ni razdeljena na segmente oziroma je predstavljena z enim samim segmentom, lahko vidimo, da so odmiki napačni in posledično je napačno določen tudi sam potek žerjavne proge. Obe tirnici sta v tem primeru ravni, vendar nista paralelni.



Slika 59: Položajni odmiki v odvisnosti od dolžine segmenta

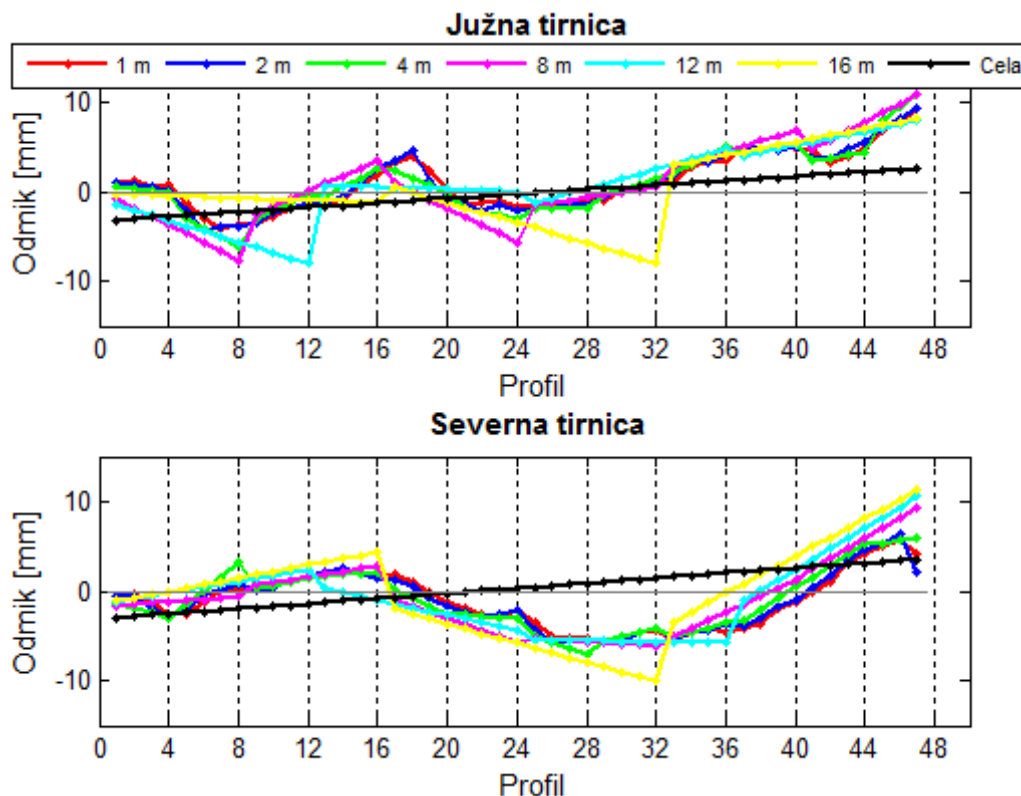
Na sliki 60 so prikazani razponi v odvisnosti od dolžine segmenta. Zaradi prevelikega položajnega odmika severne tirnice od njene referenčne linije je razpon na zadnjem profilu 2 m segmenta zunaj vrednosti, ki jo dopušča standard. Na sliki vidimo, da so razponi ustrezno določeni le pri 1 m in 2 m segmentih, medtem ko so pri ostalih situacijah določeni premalo detajlno. Tako kot pri 1 m in 2 m segmentih, tudi pri 4 m, 8 m in 12 m segmentih lahko dovolj točno prepoznamo ali je dejanski razpon večji ali manjši od projektirane vrednosti na določenem profilu, vendar vrednost razpona pri teh treh dolžinah segmentov ni dovolj točna, kar lahko pomeni napačno interpretacijo končnih rezultatov. Pri segmentu dolžine 16 m in pri situaciji, ko tirnica ni razdeljena na segmente, pa ne moremo vedeti ali je izračunan razpon na določenem profilu večji ali manjši od projektiranega razpona in prav tako se pri teh dveh situacijah, kot lahko vidimo na grafu, vrednosti dejanskih razponov precej razlikujejo od vrednosti razponov, določenih na osnovi 1 m segmentov.



Slika 60: Razponi v odvisnosti od dolžine segmenta

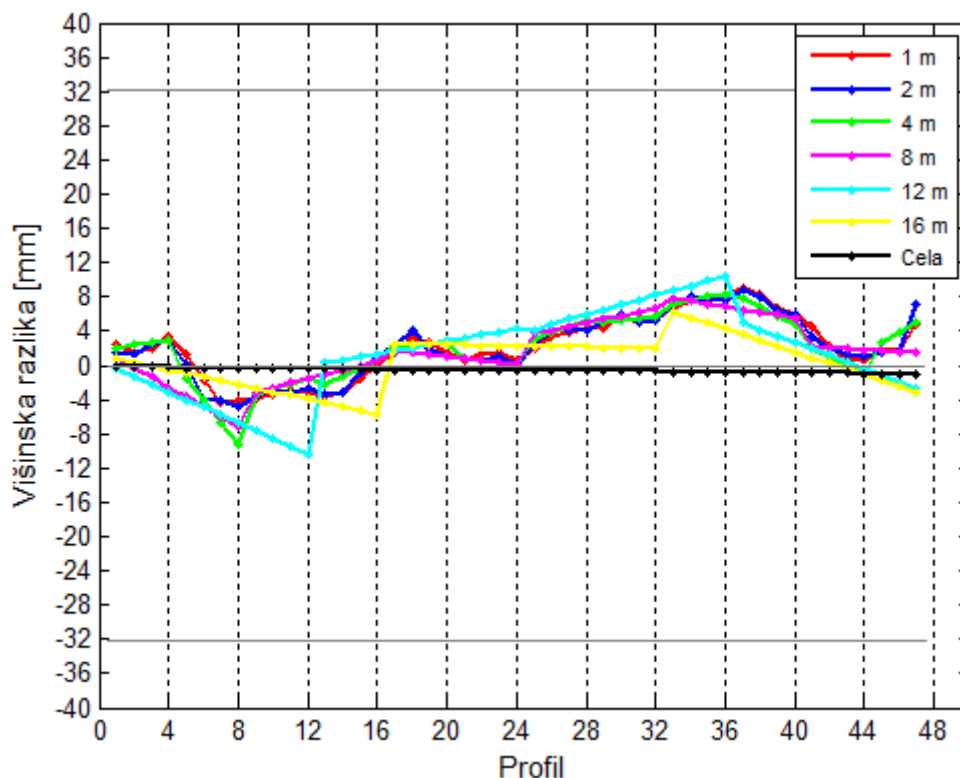
Slika 61 predstavlja višinske odmike obeh tirnic od referenčne ploskve za vse situacije. Enako kot pri položajnih odmikih tudi pri višinskih odmikih ugotovimo, da so višinski odmiki najbolj točno določeni, ko je segment dolžine 1 m in 2 m. Pri ostalih situacijah pa vrednosti odmikov na posameznih profilih niso več dovolj točne, saj dejanski višinski potek tirnice ni določen več dovolj detajlno zaradi prevelikih dolžin segmentov. Manjša dolžina segmenta pomeni tudi bolj detajlno določitev dejanskega poteka tirnice, torej če je ta razdeljena na več segmentov, bolj točni so njeni odmiki. Vidimo, da pri

situaciji, ko tirnica ni razdeljena na segmente, dobimo tirnico, ki na nek način predstavlja izravnano premico skozi vrednosti odmikov ostalih situacij.



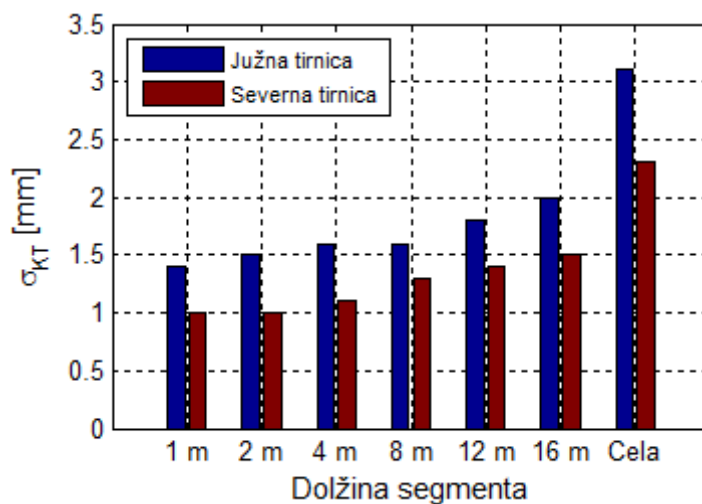
Slika 61: Višinski odmiki v odvisnosti od dolžine segmenta

Slika 62 prikazuje višinske razlike v odvisnosti od izbrane dolžine segmenta. Višinske razlike so, tako kot višinski odmiki, ustrezno določene le pri segmentih dolžine 1 m in 2 m, saj le pri teh dveh situacijah lahko določimo točne vrednosti višinskih razlik na posameznih profilih ter ugotovimo, katera tirnica je višje od druge. To zadnje lahko ugotovimo tudi za tirnico, ki ima 4 m segmente, vendar pri tej dolžini segmentov vrednosti višinskih razlik niso več dovolj točne. Za segmente, večje od 4 m, pa ne moremo več dovolj točno določiti niti višinskih razlik niti ugotoviti, katera tirnica je na višji višini kot druga. Višinska razlika tirnic, ki nista razdeljeni na segmente, je skoraj enaka 0 m, kar pomeni, da sta skoraj na enaki višini.



Slika 62: Višinske razlike v odvisnosti od dolžine segmenta

Graf na sliki 63 prikazuje natančnost določitve karakteristične točke σ_{KT} v odvisnosti od dolžine segmenta. Opazimo, da je severna tirnica določena z nekoliko višjo natančnostjo kot južna tirnica, kar je posledica geometrije skeniranja. Vidimo, da je natančnost določitve karakterističnih točk skoraj na vseh segmentih podobna, razen v primeru, ko tirnica ni razdeljena na segmente, je natančnost karakteristične točke nekoliko nižja.



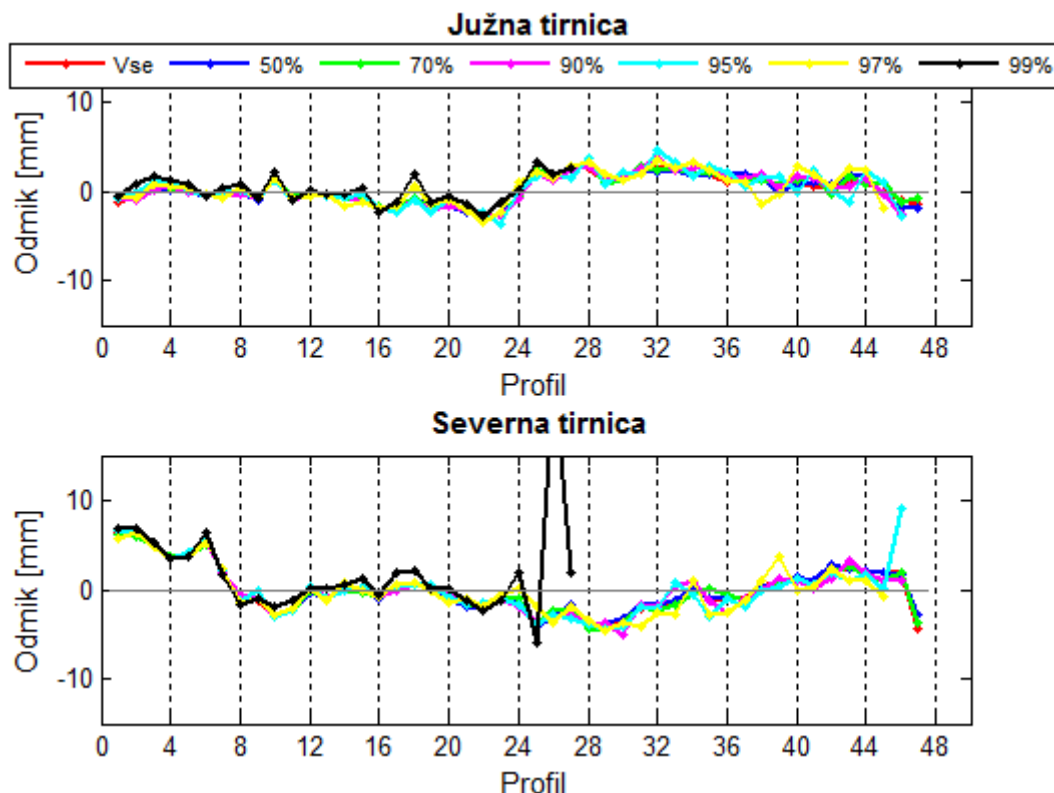
Slika 63: Povprečna natančnost karakterističnih točk v odvisnosti od dolžine segmenta

Na osnovi opravljene analize lahko zaključimo, da dolžina segmenta vpliva na parametre geometrije tirnic žerjavne proge, na osnovi česar potrdimo drugo hipotezo.

6.2.2 Testiranje hipoteze 3

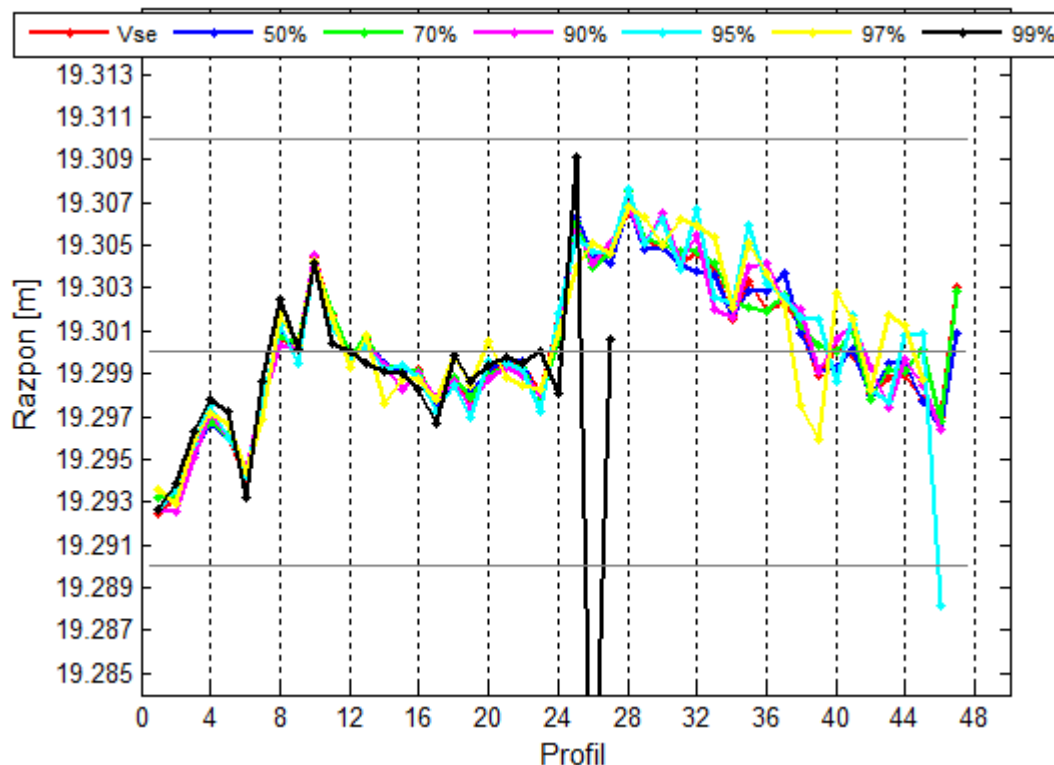
Pri tretji hipotezi smo testirali, kako gostota točk tirnice vpliva na določitev horizontalnih in vertikalnih parametrov geometrije proge. Preizkušali smo, koliko točk lahko odvezemo iz zgornje in stranske ploskve glave tirnic, da še vedno dobimo dovolj kakovostne parametre, na osnovi katerih določimo, ali je proga skladna ali neskladna s predpisi iz standarda. Te teste smo delali na segmentih dolžine 1 m, kjer je bila proga razdeljena na 47 profilov. Prvi primer, ko tirnici oziroma ploskvi obeh tirnic vsebujeta vse skenirane točke, predstavlja referenčno situacijo. V ostalih situacijah pa smo gostoto točk tirnic redčili, in sicer smo v drugem primeru odstranili 50 % točk, v tretjem 70 %, v četrtem 90 %, v petem 95 %, v šestem 97 % in v sedmem primeru 99 % točk. Rezultati so grafično predstavljeni v nadaljevanju, medtem ko se numerične vrednosti parametrov proge nahajajo v prilogi I.

Slika 64 prikazuje položajne odmike obeh tirnic v odvisnosti od števila točk na ploskvah tirnic. Žerjavna proga je v primeru, ko odstranimo 97 % točk, določena do 45 profila in v primeru odstranitve 95 % točk do 46 profila. Prav tako vidimo, da je v primeru, ko odstranimo 99 % točk, proga določena le do 27. profila, saj je v zadnjem delu proge, v primerjavi s prvim delom proge, gostota točk zaradi geometrije skeniranja vse manjša in tako pri 99 % odstranjenih točk v tem delu proge ni več zadostnega števila točk za določitev izravnane ravnine. Opazimo tudi, da sta pri tej situaciji na 26. in 27. profilu severne tirnice položajna odmika nekoliko drugačna od odmikov ostalih situacij. Pri primerjavi odmikov med različnimi situacijami vidimo, da so velikosti in smeri odmikov zelo podobne, razen v primeru 26. in 27. profila severne tirnice, ko odstranimo 99 % točk. Ti odmiki so med situacijami skoraj enaki predvsem v prvem delu proge, medtem ko se v drugem delu proge rahlo razlikujejo po velikosti in tudi smeri pri situacijah, ko odstranimo 95 % in 97 % točk, zato posledično tudi dejanski potek proge v teh dveh primerih ni določen dovolj točno. Odmiki ostalih situacij se med sabo razlikujejo za manj kot je natančnost določitve položajnih odmikov. Večja kot je gostota točk, bolj točno so določeni odmiki.



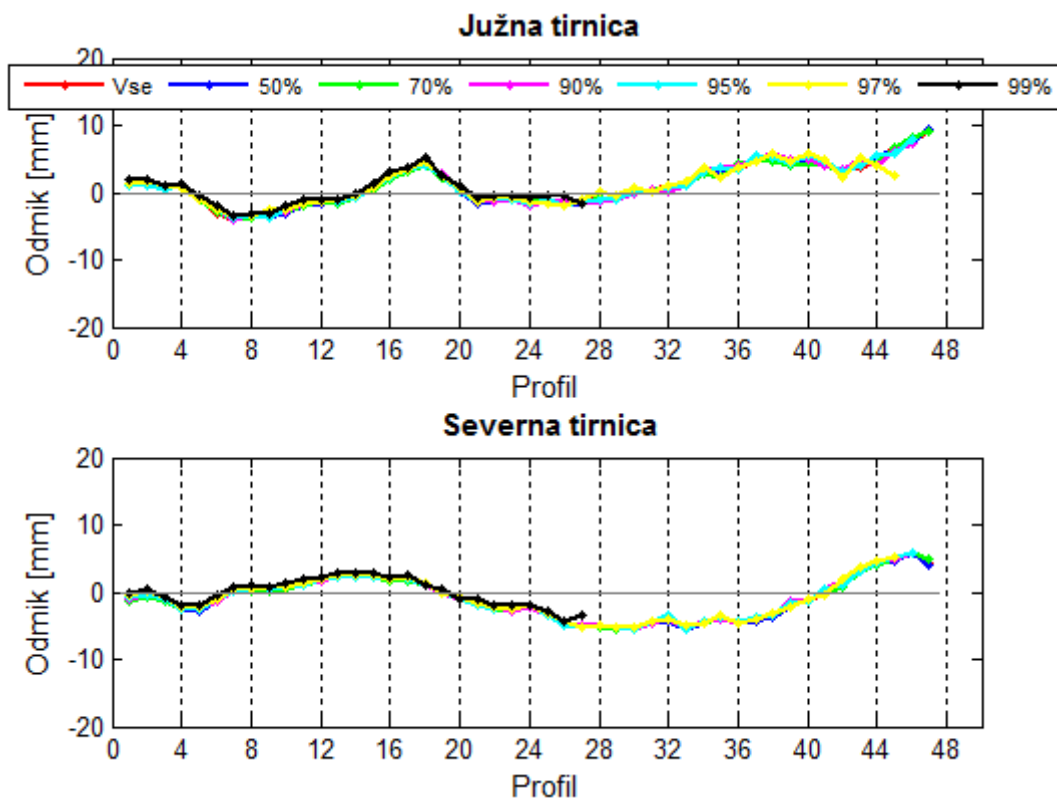
Slika 64: Položajni odmiki v odvisnosti od gostote točk

Slika 65 prikazuje razpone žerjavne proge po profilih v odvisnosti od gostote točk tirnic. V situaciji, ko je iz proge odstranjenih 99 % točk, vidimo, da je razpon na 26. profilu manjši, kot to dopušča standard. Prav tako razpon ni ustrezen na 46. profilu v primeru odstranitve 95 % točk. Opazimo, da so razponi v situacijah, ko odstranimo 50 %, 70 % in 90 % točk iz tirnice določeni dovolj točno glede na situacijo, ko imamo vse točke. V situacijah, ko iz proge odstranimo 95 %, 97 % ali 99 % točk pa razponi, predvsem v zadnjem delu proge, niso določeni več dovolj točno. To ima lahko vpliv na interpretacijo končnih rezultatov, saj v primeru, da se dejanski razponi nahajajo blizu meje dovoljenega območja, lahko ne zaznamo, da se ti razponi v bistvu nahajajo izven meje dopustnosti in je tako razlika med dejanskim in projektiranim razponom večja, kot to dopušča standard. Pri vseh situacijah, razen v enem primeru pri situaciji 99 %, lahko prepoznamo, ali je dejanski razpon večji ali manjši od projektiranega razpona na določenem profilu, vendar ne moremo za vse situacije tudi trditi, da so razponi točnih vrednosti glede na referenčno situacijo.

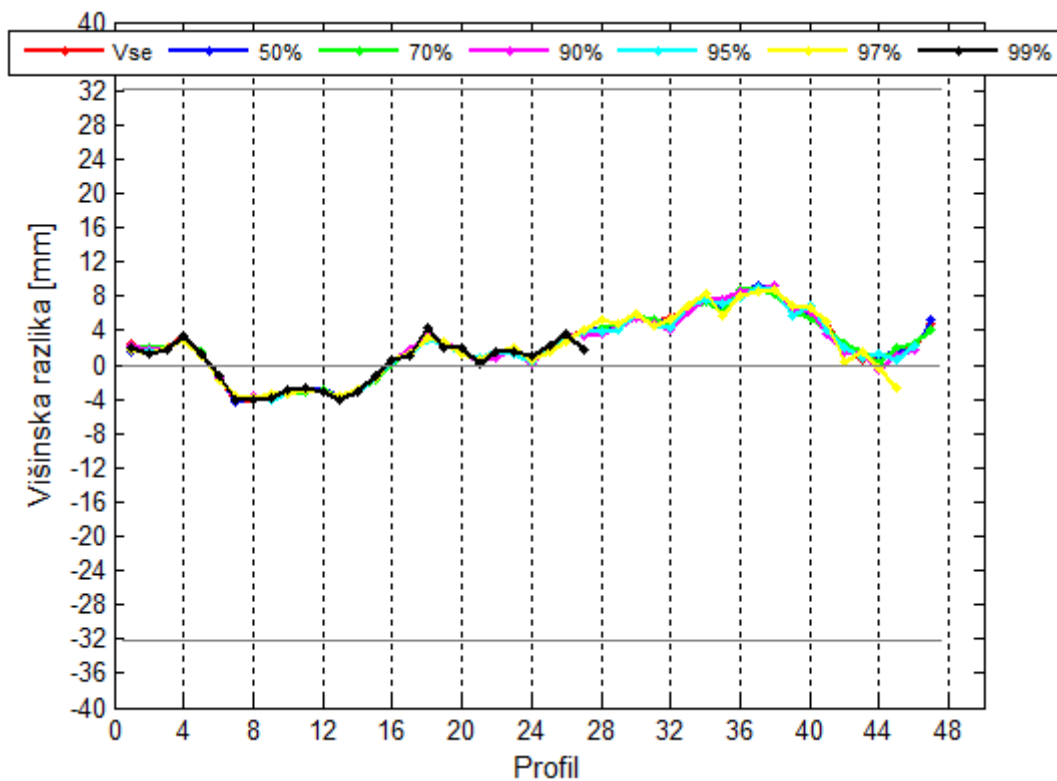


Slika 65: Razponi v odvisnosti od gostote točk

Na sliki 66 so predstavljeni višinski odmiki proge od referenčne ploskve za vseh šest obravnavanih situacij skupaj z referenčno situacijo. Vidimo, da so višinski odmiki za vse situacije skoraj identični, s tem pa tudi višinske razlike na sliki 67. Razlika odmikov in tudi višinskih razlik med različnimi situacijami je manjša kot natančnost določitve odmikov oziroma višinskih razlik. Ugotovimo, da je višinski potek proge neodvisen od gostote točk tirnice. Paziti moramo le, da je gostota točk čim bolj enakomerna vzdolž proge, saj se s tem izognemo situaciji, ki nastane v primeru, ko iz proge odstranimo 99 % točk, ko poteka tirnic ni mogoče določiti v drugem delu žerjavne proge.



Slika 66: Višinski odmiki v odvisnosti od gostote točk



Slika 67: Višinske razlike v odvisnosti od gostote točk

Z analizo ugotovimo, da tretjo hipotezo lahko delno potrdimo in delno zavrnemo. Potrdimo jo v primeru horizontalnega poteka žerjavne proge za situacije, ko odstranimo 95 %, 97 % in 99 % točk, medtem ko jo za ostale situacije (50 %, 70 % in 90 %) zavrnemo. V primeru višinskega poteka pa za vse situacije hipotezo zavrnemo, saj gostota točk tirnic ne vpliva na določitev višinskih parametrov geometrije tirnic žerjavne proge.

7 SMERNICE ZA KAKOVOSTNO DOLOČITEV GEOMETRIJE TIRNIC ŽERJAVNE PROGE S TEHNOLOGIJO TLS

Med izdelavo naloge smo prišli do določenih spoznanj in ugotovitev, na osnovi katerih lahko podamo določene smernice za izvedbo kontrolnih meritev in za ustrezno obdelavo oblaka točk, ki nam omogočajo kakovostno določitev horizontalnega in vertikalnega poteka žerjavne proge. V nadaljevanju podajamo splošna priporočila za kontrolo geometrije tirnic žerjavne proge z metodo TLS.

Pred samo izvedbo meritev je potrebno opraviti rekognosciranje žerjavne proge. Določiti moramo čim bolj optimalen položaj referenčnih oziroma stojiščnih točk skenerja, da bomo dovolj detajlno zajeli ploskvi, ki nas zanimata, torej zgornjo ploskev glave obeh tirnic in stransko notranjo ploskev glave obeh tirnic. Zavedati se je potrebno, da vzpostavljena geometrija skeniranja glede vpadnih kotov laserskega žarka ne bo najbolj optimalna, saj jo je zaradi specifičnih dimenzij, ki jih ima žerjavna proga, težko zagotoviti.

Tirnici žerjavne proge poskušamo poskenirati iz enega stojišča, s čimer se izognemo pogreškom registracije in v določenih primerih georeferenciranja. Stojišče skenerja izberemo na sredini mostu žerjava, ki se mora nahajati na začetku ali koncu žerjavne proge. S skeniranjem iz sredine mostu zagotovimo, da sta obe stranski notranji ploskvi glav tirnic ustrezno zajeti, s čimer uspešno določimo položaj tirnic. Z ustrezno višino skenerja pa zagotovimo, da sta zgornji ploskvi glav tirnic prav tako izmerjeni z ustrezno ločljivostjo, kar nam omogoča definiranje žerjavne proge v višinskem smislu. Prednost skeniranja iz enega stojišča je v krajšem času izmere. Potrebno se je zavedati, da stojišče skenerja na mostu žerjava ni najbolj stabilno, zato je treba izmero izvesti previdno.

Žerjavne proge so dolgi in ozki objekti in so običajno vgrajene na težko dostopnih mestih v hali, zato pogostokrat ni mogoče izvesti skeniranja iz enega stojišča. V takšnih primerih poskušamo razporediti stojišča ob progi tako, da čim bolj optimalno zajamemo detajl, ki nas zanima. Najbolje je, da referenčne točke vzpostavimo na pohodnem delu ob tirnicah, ki omogoča stabilno postavitve stativa. Število stojišč skenerja je odvisno od karakteristik posamezne žerjavne proge. Priporočljivo je, da dve referenčni točki izberemo na začetku in dve na koncu proge, tako da sta ob vsaki tirnici dve točki. V primerih, ko so žerjavne proge daljših dolžin, pa je priporočljivo izbrati kakšno stojišče tudi vmes med začetkom in koncem proge. Iz vsakega stojišča skeniramo obe tirnici, tako da čim boljše določimo zgornjo in stransko notranjo ploskev obeh tirnic.

Lahko se zgodi, da konstrukcija objekta ne dopušča postavitve stativa in izvedbe skeniranja ob tirnicah. V takih situacijah stojišče določimo na sredini mostu žerjava. Na mostu lahko vzpostavimo

tudi dve stojišči, tako da je vsako stojišče na enem koncu mostu in oddaljeno približno 1 m od pripadajoče tirnice proti notranjosti žerjavne proge. Iz mostu poskeniramo najprej prvo polovico proge, nato premaknemo most žerjava proti polovici proge in iz njega poskeniramo še drugo polovico proge. Prav tako lahko v tem primeru zajamemo tudi del proge, ki se nahaja pod žerjavom, kar v ostalih načinih izmere običajno ne počnemo. Pri daljših žerjavnih progah je priporočljivo, da žerjav premaknemo večkrat in progo tako izmerimo v več delih.

Pri skeniranju tirnic iz več stojišč je potrebno izvesti registracijo oblakov točk, ki smo jih zajeli iz različnih stojišč, v en sam oblak točk. Poznamo več načinov registracije. Postopek registracije preko veznih točk zahteva ustrezno razporeditev veznih točk, kar pa je v primeru dolžinskih objektov, kot je žerjavna proga, težko zagotoviti. Priporočljivo je, da skeniranje iz več stojišč izvedemo s tahimetrično zasnovanim skenerjem, kot je na primer Leica Nova MS50, ki omogoča direktno georeferenciranje oblaka točk, s čimer se izognemo pogreškom, ki nastanejo zaradi neprimerne razporeditve veznih točk kot tudi oslonilnih točk. V primeru direktnega georeferenciranja je potrebno med referenčnimi točkami vzpostaviti in izmeriti geodetsko mrežo, ki jo nato izravnamo. Na izravnane koordinate je potrebno v postopku obdelave vklopiti združen oblak točk.

Kljub temu da nas zanima le relativen položaj tirnic žerjavne proge, je priporočljivo, da oblak točk tirnic georeferenciramo v lokalni koordinatni sistem žerjavne proge, na osnovi česar lahko izvedemo popravilo tirnic, če ugotovimo, da tirnici nista skladni s standardom. Metoda TLS je brezkontaktna metoda, zato ne označimo profilov vzdolž žerjavne proge in posledično v primeru popravil ne moremo točno vedeti, v katerem delu žerjavna proga ni skladna s standardom. Posledica tega je, da moramo pri skeniranju, če hočemo ugotoviti položaj popravila, referenčne točke ne le signalizirati, ampak tudi trajno stabilizirati in jim določiti izravnane koordinate. V času popravila se nato navežemo na referenčne točke in odmerimo smer proti mestu na tirnici, kjer smo ugotovili, da proga preveč odstopa od projektiranih vrednosti.

Referenčne točke lahko vzpostavimo tudi na stenah ob progi, ki jih signaliziramo z nalepkami oziroma retro tarčami. Retro tarčam določimo izravnane koordinate, na katere se navežemo v primeru popravila proge oziroma ob vsaki ponovitvi izmere žerjavne proge. Stojišče skenerja v tem primeru predstavlja prosto stojišče. Prednost tega načina je, da referenčnih točk ne signaliziramo s stativi, ki jih je v določenih primerih težko vzpostaviti ob progi.

Druga možnost za ugotovitev mesta popravila, na primer pri skeniranju iz enega stojišča, je, da izvedemo fino skeniranje konca ene tirnice in konca druge tirnice žerjavne proge, s čimer natančno določimo rob konca posamezne tirnice. Ker sta tirnici v postopku obdelave vzporedni z y osjo koordinatnega sistema žerjavne proge, določimo robu konca žerjavne proge y koordinato. Z merskim

trakom nato odmerimo dolžino od roba konca žerjavne proge do profila, na katerem smo ugotovili napako v geometriji proge. Ta postopek je priporočljiv, saj je najbolj enostaven.

Poleg čim bolj optimalne določitve geometrije skeniranja glede na možnosti, ki nam jih ponuja objekt, je treba definirati tudi ustrezno kotno ločljivost skeniranja. Definiramo jo glede na velikost najmanjšega detajla, tako da bo odstotek zajetega detajla čim večji. Najmanjši detajl predstavlja stranska ploskev glave tirnice, zato izberemo takšen korak rastra, da bomo pri obdelavi oblaka točk lahko prepoznali to ploskev. Z oddaljevanjem tirnice od stojišča skenerja se večja vpadni kot laserskega žarka in s tem manjša gostota skeniranih točk. Za zagotovitev homogene gostote točk tirnic vzdolž proge je potrebno skenirati tirnici iz več stojišč oziroma kot v našem primeru lahko tudi v več odsekih.

Skeniran oblak točk je treba tudi ustrezno obdelati, iz katerega najprej ekstrahiramo obe tirnici žerjavne proge. Posamezno tirnico lahko aproksimiramo na različne načine. Priporočljivo je, da jo aproksimiramo z ravninami. Pri aproksimiranju z ravninami je treba izvesti filtriranje oblaka točk tirnic v smislu eliminacije vseh točk, ki pripadajo ploskvam, ki nas ne zanimajo. Tako iz oblaka točk odstranimo vse točke, ki ležijo na nogi in vratu tirnice ter točke, ki ležijo na stranski zunanji ploskvi glave tirnice. V tej fazi lahko eliminiramo tudi točke, ki predstavljajo zgornji notranji rob glave tirnice, ki imajo prav tako vpliv na točnost in natančnost določitve parametrov geometrije tirnic proge. Končni rezultat filtriranja so točke, ki pripadajo zgornji ploskvi glave tirnice, ki omogočajo določitev tirnice v višinskem smislu, in točke, ki pripadajo stranski notranji ploskvi glave tirnice, ki določajo tirnico v položajnem smislu.

Oblak točk tirnic moramo obvezno razdeliti na odseke oziroma segmente, ki ne smejo biti daljši od 2 m. Priporočamo, da so dolžine 1 m. Segment vsebuje točke, ki pripadajo zgornji ploskvi in stranski notranji ploskvi glave tirnice. Vsak posamezen segment moramo tudi fino filtrirati, s čimer odstranimo odstopajoče točke, ki jih v fazi grobega filtriranja ni bilo mogoče odstraniti. V fazi fine filtracije se eliminirajo tudi točke, ki predstavljajo zgornji notranji rob glave tirnice, v primeru, ko jih nismo že grobo filtrirali. Za fino filtriranje priporočamo uporabo algoritma RANSAC.

Potrebno je izvesti tudi izravnavo ravnine. Priporočamo izravnavo ravnine po metodi najmanjših kvadratov na osnovi singularnega razcepa (SVD). Vsak segment moramo izravnati posebej, s čimer na vsakem segmentu dobimo dve izravnani ravnini, ki predstavljata zgornjo in stransko notranjo ploskev glave tirnice. Na osnovi izravnanih ravnin določimo karakteristične linije, ki predstavljajo dejanski potek žerjavne proge.

Za določitev referenčne linije in višinskega referenčnega nivoja žerjavne proge moramo v izračunih upoštevati karakteristične točke iz obeh tirnic. Pravokotnice na referenčne linije predstavljajo profile, ki so lahko v poljubnih razmikih, vendar priporočamo razmik med profili velikosti 1 m. S pravokotnicami na referenčne linije zagotovimo, da sta karakteristični točki posameznega profila na popolnoma enaki stacionaži. To nam zagotavlja korektno določitev položajnih in višinskih odmikov ter dejanskih razponov in višinskih razlik med tirnicama. Potrebno je omeniti, da moramo razpon oziroma razdaljo med karakterističnima točkama na istem profilu računati v 2D prostoru.

Kontrolne meritve kot tudi obdelavo meritev je potrebno izvesti v skladu s priporočenimi smernicami, ki omogočajo kakovostno določitev parametrov geometrije tirnic. To pa nam omogoča, da pravočasno odkrijemo napake pri premikanju žerjava po tirnicah in posledično preprečimo dodatne poškodbe žerjava in žerjavne proge ter zagotovimo varnost pri upravljanju z žerjavnimi progami.

8 ZAKLJUČEK

V magistrskem delu smo obravnavali možnost uporabe tehnologije TLS pri kontrolnih meritvah žerjavne proge. Prikazali smo nov pristop za določitev geometrije tirnic žerjavne proge na osnovi meritev s terestričnim laserskim skenerjem in obdelave oblaka točk z izdelanim računalniškim programom. Kontrolne meritve smo izvedli na žerjavni progi HEK in žerjavni progi TEB, za kateri lahko na osnovi opravljenih analiz podamo naslednje zaključke.

Za žerjavno progo HEK ugotovimo, da za začetne profile ne moremo trditi, da dejanski razpon od projektiranega razpona odstopa za manj kot to dopušča standard, medtem ko za ostale profile vzdolž proge lahko zagotovo trdimo, da so znotraj meje dovoljenega odstopanja. V teh prvih profilih sta tirnici preveč skupaj. Višinska razlika med tirnicama je vzdolž žerjavne proge ves čas znotraj meje dovoljenega odstopanja, ki ga predpisuje standard. Do teh ugotovitev pridemo tako na osnovi metode TLS, kakor tudi na osnovi klasične polarne metode detajlne izmere. Zaključimo lahko, da žerjavna proga HEK v horizontalnem smislu ni ustrezna, medtem ko je v vertikalnem smislu skladna s predpisi, ki jih navaja standard. Priporočamo ponovno izmero žerjavne proge, in sicer z metodo TLS z instrumentom Leica Nova MS50. Pri naslednji izmeri predlagamo vzpostavitev trajno stabiliziranih referenčnih točk z retro tarčami na stenah, ki sta pravokotni na obe tirnici. Svetujemo, da zajem tirnic žerjavne proge opravimo z mostu žerjava, tako da imamo na vsakem koncu mostu dve stojišči. Najprej naj se zajame prvo polovico proge, ob prestavitvi žerjava proti središču proge pa še drugo polovico žerjavne proge. Predlagamo fino skeniranje roba konca žerjavne proge, s čimer bomo na najbolj enostaven način določili lokacijo popravila. Prav tako priporočamo, da se po končanih popravilih na žerjavni progi ponovno opravijo kontrolne meritve.

V primeru žerjavne proge TEB ugotovimo, da lahko za vse razpone in višinske razlike na vseh profilih vzdolž žerjavne proge zagotovo trdimo, da so znotraj dovoljenega odstopanja, ki ga navaja obravnavan standard. Zaključimo lahko, da je žerjavna proga TEB tako v horizontalnem kakor tudi v vertikalnem smislu ustrezna. Kljub temu priporočamo, da se kontrolne meritve žerjavne proge izvedejo enkrat letno.

Prav tako lahko na osnovi opravljenih analiz podamo določene zaključke hipotez, ki smo jih postavili v uvodu naloge.

Prvo trditev, da je metoda TLS glede določitve parametrov geometrije tirnic žerjavne proge primerljiva s klasično polarno metodo detajlne izmere, lahko potrdimo. Ugotovimo, da so razlike med parametri geometrije tirnic ene in druge metode dovolj majhne, da lahko trdimo, da se parametri med obema izbranimi metodama zelo dobro ujemajo. Natančnost določitve parametrov je pri klasični

polarni metodi detajlne izmere pričakovano rahlo višja kot pri metodi TLS, vendar so kljub temu parametri na osnovi TLS tehnologije določeni z ustrezno natančnostjo. Zavedati se moramo, da imamo pri metodi TLS veliko nadštevilnost, s čimer lahko precenimo natančnost. Stremeti moramo k temu, da so parametri geometrije določeni z dovolj visoko natančnostjo, saj nam to omogoča, da se čim bolj pravilno opredelimo do odločitev, ali je tirnica skladna ali ni skladna s standardom. Metoda TLS je v primeru skeniranja iz enega stojišča bistveno hitrejša od polarne metode, vendar tega za skeniranje iz več stojišč ne moremo trditi. Prav tako je pri metodi TLS točno določena stacionaža kontrolne točke, kar za klasično polarno metodo detajlne izmere ne velja. Obe metodi nam omogočata, da istočasno za isto kontrolno točko določimo 3D koordinate s pripadajočimi natančnostmi. Ena izmed prednosti skeniranja je tudi, da oblak točk omogoča modeliranje posamezne tirnice. Ob predpostavki, da imamo terestrični laserski skener, in da skeniramo iz enega stojišča, metoda ne zahteva dodatnega finančnega vložka za potrebno dodatno opremo. Prav tako pri skeniranju ne potrebujemo figuranta za postavljanje tarč na tirnico, saj je metoda TLS brezkontaktna metoda in je tako dovolj, da je prisoten le operater. Ugotovimo lahko, da metoda TLS omogoča zaznavo dovolj majhnega premika tirnice od njene projektirane osi, tako v položajnem kot višinskem smislu. Na osnovi potrditve prve hipoteze lahko posledično zaključimo, da je metoda TLS primerna za spremljanje geometrije tirnic žerjavne proge.

Drugo trditev, da dolžina segmenta tirnice vpliva na določitev parametrov geometrije tirnic žerjavne proge, lahko potrdimo. Ugotovimo, da je tirnico treba obvezno razdeliti na segmente, in da dolžine segmentov ne smejo biti predolge. V primeru ne razdelitve tirnice na segmente in predolgih dolžin segmentov dobimo napačen potek žerjavne proge, ki ni dovolj detajlno opisan, kar nam onemogoča pravilno interpretacijo dobljenih razponov in višinskih razlik. Dolžine segmentov morajo biti manjše od 2 m, priporočamo, da so dolžine 1 m. To nam omogoča, da potek žerjavne proge opišemo dovolj detajlno, s čimer zagotovimo, da so geometrijski parametri tirnice določeni dovolj točno, na osnovi katerih izberemo pravilne odločitve glede ustreznosti žerjavne proge s standardom.

Tretja trditev, da gostota točk tirnic vpliva na določitev parametrov geometrije tirnic žerjavne proge, deloma drži, deloma ne. Pridemo do zanimive ugotovitve, da iz oblaka točk tirnic lahko odstranimo precejšnje število točk, saj spoznamo, da to ne vpliva na določitev geometrijskih parametrov. Hipotezo potrdimo v primeru horizontalnega poteka žerjavne proge, saj v primeru, ko iz oblaka točk odstranimo več kot 95 % točk razpon in položajni odmiki tirnic niso več ustrezno določeni, kar ima posledice na pravilno interpretacijo končnih rezultatov. V primeru višinskega poteka pa to hipotezo zavrnamo, saj tudi v primeru 99 % odstranitve točk dobimo dovolj kakovostno določene parametre geometrije tirnic. Ugotovimo, da posamezen segment lahko vsebuje zelo majhno število točk in so parametri še vedno določeni ustrezno. Zaključimo lahko, da kljub temu da hipotezo delno zavrnamo, je gostota skeniranih točk pomembna, saj nam omogoča, da zajamemo najmanjši detajl, ki nas zanima, torej stransko notranjo ploskev glave tirnice.

VIRI

Uporabljeni viri

- [1] Kovanič, L., Gašinec, J., Kovanič, L., Lechman, P. 2010. Geodetic surveying of crane trail space relations. *Acta Montanistica Slovaca* 15, 3: 188-199.
http://actamont.tuke.sk/pdf/2010/n3/03_Gasinec.pdf (Pridobljeno 18. 11. 2015.)

- [2] Konecranes. 2016. Analiza žerjavne proge RailQ.
<http://www.konecranes.si/servis/svetovalne-storitve/analiza-zerjavne-proge-railqtm>
(Pridobljeno 21. 1. 2016.)

- [3] Savšek, S. 2013/2014. Predavanja pri predmetu Standardi v geodetski merski tehniki. Univerza v Ljubljani, Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo.

- [4] Nemški inštitut za standardizacijo. 2016. Wikipedia.
https://sl.wikipedia.org/wiki/Nem%C5%A1ki_in%C5%A1titut_za_standardizacijo
(Pridobljeno 22. 1. 2016.)

- [5] SIST EN 1993-6: 2007. Evrokod 3: Projektiranje jeklenih konstrukcij - 6. del: Žerjavne proge.

- [6] Gantrex. 2008. Standard European Profiles.
<http://www.gantrex.com/wp-content/uploads/2011/01/DIN-A-Rail-Sections1.pdf> (Pridobljeno 8. 12. 2015.)

- [7] Babenko, P. 2009. Visual inspection of railroad tracks. Doktorska disertacija. Orlando, College of Engineering and Computer Science (samozaložba P. Babenko): 98 str.
http://etd.fcla.edu/CF/CFE0002895/Babenko_Pavel_200912_PhD.pdf
(Pridobljeno 20. 4. 2015.)

- [8] Benito, D. D. 2012. Automatic 3D modelling of train rails in a lidar point cloud. Magistrska naloga. Twente, Faculty of Geo-Information Science and Earth Observation (samozaložba D. D. Benito): 46 str.
https://www.itc.nl/library/papers_2012/msc/gfm/diazbenito.pdf (Pridobljeno 18. 4. 2015.)

- [9] Elberink, S. O., Khoshelham, K., Arastounia, M., Benito, D. D. 2013. Rail track detection and modelling in mobile laser scanner data. *ISPRS Annals of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences II-5/W2*: 223-228.
<http://www.isprs-ann-photogramm-remote-sens-spatial-inf-sci.net/II-5-W2/223/2013/isprsannals-II-5-W2-223-2013.pdf> (Pridobljeno 20. 4. 2015.)
- [10] Soni, A., Robson, S., Gleeson, B. 2014. Extracting rail track geometry from static terrestrial laser scans for monitoring purposes. *The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences XL-5*: 553-557.
<http://www.int-arch-photogramm-remote-sens-spatial-inf-sci.net/XL-5/553/2014/isprsarchives-XL-5-553-2014.pdf>
(Pridobljeno 18. 4. 2015.)
- [11] Soni, A., Robson, S., Gleeson, B. 2015. Optical Non-Contact Railway Track Measurement with Static Terrestrial Laser Scanning to Better Than 1.5mm RMS. *FIG Working Week 2015. From the Wisdom of the Ages to the Challenges of the Modern World*. Sofija, Bolgarija, 17.-21. maj 2015.
http://www.fig.net/resources/proceedings/fig_proceedings/fig2015/papers/ts02h/TS02H_soni_robson_et_al_7493.pdf (Pridobljeno 19. 5. 2015.)
- [12] Kostov, G. P. 2015. Application, Specifics and Technical Implementation of the 3D Terrestrial Laser Scanning for Measurement and Analysis of the Spatial Geometry of a Steel Construction. *FIG Working Week 2015. From the Wisdom of the Ages to the Challenges of the Modern World*. Sofija, Bolgarija, 17.-21. maj 2015.
http://www.fig.net/resources/proceedings/fig_proceedings/fig2015/papers/ts07e/TS07E_kostov_7625.pdf (Pridobljeno 19. 11. 2015.)
- [13] Kopačik, A., Wunderlich, A. 2004. Usage of Laser Scanning Systems at Hydro-technical Structures. *FIG Working Week 2004. Atene, Grčija*, 22.-27. maj 2004.
https://www.fig.net/resources/proceedings/fig_proceedings/athens/papers/ts23/TS23_4_Kopacik_Wunderlich.pdf (Pridobljeno 19. 11. 2015.)
- [14] Kremen, T., Koska, B., Pospišil, J., Kyrinovič, P., Haličkova, J., Kopačik, A. 2008. Checking of crane rails by terrestrial laser scanning technology. *13th FIG Symposium on Deformation Measurement and Analysis. 4th IAG Symposium on Geodesy for Geotechnical and Structural Engineering*. LNEC, Lizbona, 12.-15. maj 2008.
http://k154.fsv.cvut.cz/~koska/publikace/soubory/Crane_Rails.pdf (Pridobljeno 28. 10. 2014.)

- [15] Kogoj, D. 2012/2013. Zapiski s predavanj pri predmetu Geodetski merski sistemi. Univerza v Ljubljani, Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo.
- [16] Rozsa, S. 2009. Engineering surveying 2. Lecture Notes for the BSc course BMEEOAFASII. Budapest University of Technology and Economics, Department of Geodesy and Surveying. http://sci.fgt.bme.hu/~szrozsa/EngSurv2/ES_book.pdf (Pridobljeno 28. 1. 2016.)
- [17] Marjetič, A., Kregar, K., Ambrožič, T., Kogoj, D. 2012. An Alternative Approach to Control Measurements of Crane Rails. *Sensors* 12, 5: 5906-5918.
- [18] Reshetyuk, Y. 2009. Self-calibration and direct georeferencing in terrestrial laser scanning. Doktorska disertacija. Stockholm, Royal Institute of Technology (KTH), Department of Transport and Economics, Division of Geodesy (samozaložba Y. Reshetyuk): 158 str. <https://www.diva-portal.org/smash/get/diva2:139761/FULLTEXT01.pdf> (Pridobljeno 3. 2. 2016.)
- [19] Van Ree, J. M. 2006. Determination of the precision and reliability parameters of terrestrial laser scanners. Magistrska naloga. Delft, Delft University of Technology, Faculty of Aerospace engineering, Delft Institute of Earth Observation and Space Systems (samozaložba J. M. van Ree): 166 str. <http://rs.tudelft.nl/~rlindenbergh/education/scriptieVanRee.pdf> (Pridobljeno 3. 2. 2016.)
- [20] Santana Quintero, M., Lerma, J. L., Heine, E., Van Genechten, B. 2008. Theory and practice on Terrestrial Laser Scanning: Training material based on practical applications. Valencia, Universidad Politecnica de Valencia Editorial: 241 str. https://lirias.kuleuven.be/bitstream/123456789/201130/2/Leonardo_Tutorial_Final_vers5_EN_GLISH.pdf (Pridobljeno 8. 12. 2015.)
- [21] Kogoj, D. 2005. Merjenje dolžin z elektronskimi razdaljmeri. Ljubljana, Univerza v Ljubljani, Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo: 159 str.
- [22] Gordon, B. 2008. Zur Bestimmung von Messunsicherheiten terrestrischer Laserscanner. Doktorska disertacija. Darmstadt, Technische Universität Darmstadt, Fachbereich Bauingenieurwesen und Geodäsie (samozaložba B. Gordon): 194 str. http://tuprints.ulb.tu-darmstadt.de/1206/1/Dissertation_BGordon.pdf (Pridobljeno 3. 2. 2016.)

-
- [23] Derpanis, K. G. 2010. Overview of the RANSAC Algorithm. Version 1.2.
http://www.cse.yorku.ca/~kosta/CompVis_Notes/ransac.pdf (Pridobljeno 10. 12. 2015.)
- [24] Söderkvist, I. Using SVD for some fitting problems.
http://www.ltu.se/cms_fs/1.51590!/svd-fitting.pdf (Pridobljeno 3. 2. 2016.)
- [25] Doctor George. 2003. Orthogonal Distance Regression Planes. The Math Forum @ Drexel, objavljeno 30. 7. 2003.
<http://mathforum.org/library/drmath/view/63765.html#assoc> (Pridobljeno 8. 12. 2015.)
- [26] Marshall, D., Lai, Y. 2010. Geometric Computing (2). CM0268 Lecture Notes. Cardiff University, Cardiff School of Computer Science.
http://www.cs.cf.ac.uk/Dave/CM0268/PDF/12_CM0268_Geometric_Computing2.pdf
(Pridobljeno 15. 5. 2015.)
- [27] HE Krško. 2016. Brežice, Hidroelektrarne na Spodnji Savi, d.o.o.
<http://www.he-ss.si/he-krsko-splosno.html> (Pridobljeno 10. 2. 2016.)
- [28] Tehnični opis. 2011. HE Krško, Ostale naprave. 5 Načrt strojnih inštalacij in strojne opreme, 5/3/1 Mostni žerjav v strojnici.
- [29] Ambrožič, T., Turk, G., Jamšek, Z. 2005. GEM4 ver.4.0. Ljubljana, Univerza v Ljubljani, Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo.
- [30] Ambrožič, T., Turk, G. 2007. VIM ver.5.0. Ljubljana, Univerza v Ljubljani, Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo.
- [31] Geoservis. 2016. Leica Nova MultiStation MS50.
<http://www.geoservis.si/produkti/87-leica-nova/244-leica-nova-ms50-multistation>
(Pridobljeno 18. 2. 2016.)
- [32] Termoelektrarna Brestanica. 2016. Brestanica, Termoelektrarna Brestanica d.o.o.
<http://www.teb.si/sl/proizvodnja> (Pridobljeno 10. 2. 2016.)
- [33] RIEGL Laser Measurement systems. 2016. RIEGL VZ-400.
<http://www.riegl.com/nc/products/terrestrial-scanning/produktdetail/product/scanner/5/>
(Pridobljeno 18. 2. 2016.)

Ostali viri

MathWorks. 2015. MATLAB - The Language of Technical Computing.
<http://www.mathworks.com/products/matlab/> (Pridobljeno 10. 5. 2015.)

Nurunnabi, A., Belton, D., West, G. 2014. Robust statistical approaches for local planar surface fitting in 3D laser scanning data. *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing* 96: 106-122.

<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0924271614001762>
(Pridobljeno 19. 5. 2015.)

Ta stran je namenoma prazna.

SEZNAM PRILOG

- Priloga A:** IZRAČUNI PARAMETROV IZRAVNANIH RAVNIN GORVODNE TIRNICE HEK
- Priloga B:** IZRAČUNI PARAMETROV IZRAVNANIH RAVNIN DOLVODNE TIRNICE HEK
- Priloga C:** IZRAČUNI PARAMETROV IZRAVNANIH RAVNIN JUŽNE TIRNICE TEB
- Priloga D:** IZRAČUNI PARAMETROV IZRAVNANIH RAVNIN SEVERNE TIRNICE TEB
- Priloga E:** IZRAVNANE KOORDINATE IN NATANČNOSTI KARAKTERISTIČNIH TOČK ŽERJAVNE PROGE HEK NA OSNOVI KLASIČNE POLARNE METODE DETAJLNE IZMRE
- Priloga F:** IZRAVNANE KOORDINATE IN NATANČNOSTI KARAKTERISTIČNIH TOČK ŽERJAVNE PROGE HEK NA OSNOVI METODE TLS
- Priloga G:** IZRAVNANE KOORDINATE IN NATANČNOSTI KARAKTERISTIČNIH TOČK ŽERJAVNE PROGE TEB
- Priloga H:** PARAMETRI GEOMETRIJE TIRNIC ŽERJAVNE PROGE V ODVISNOSTI OD DOLŽINE SEGMENTOV
- Priloga I:** PARAMETRI GEOMETRIJE TIRNIC ŽERJAVNE PROGE V ODVISNOSTI OD GOSTOTE TOČK TIRNIC

Ta stran je namenoma prazna.

Priloga A: IZRAČUNI PARAMETROV IZRAVNANIH RAVNIN GORVODNE TIRNICE HEK

IZRAČUNI PARAMETROV IZRAVNANIH RAVNIN

MAGISTRSKO DELO
Kontrolne meritve žerjavne proge s terestričnim laserskim skeniranjem
Avtor: Jan Možina
Datum in čas: 24. FEBRUAR 2016 16:52:52.6

GOSTOTA TOČK, NATANČNOSTI ZGORNJIH IN STRANSKIH IZRAVNANIH RAVNIN
TER KOTI MED RAVNINAMA (NORMALAMA)

	Gostota	NAT_rz	NAT_rs	kot
	točk	[m]	[m]	[°]
Segment 1	263	0.0011	0.0009	87
Segment 2	271	0.0009	0.0008	89
Segment 3	293	0.0009	0.0008	89
Segment 4	294	0.0009	0.0008	88
Segment 5	326	0.0012	0.0008	87
Segment 6	342	0.0009	0.0008	87
Segment 7	357	0.0011	0.0006	90
Segment 8	354	0.0010	0.0007	89
Segment 9	372	0.0010	0.0007	89
Segment 10	548	0.0009	0.0007	82
Segment 11	648	0.0010	0.0007	88
Segment 12	673	0.0011	0.0008	88
Segment 13	658	0.0011	0.0007	88
Segment 14	742	0.0011	0.0007	89
Segment 15	778	0.0010	0.0007	89
Segment 16	788	0.0010	0.0008	90
Segment 17	830	0.0010	0.0007	89
Segment 18	835	0.0011	0.0007	90
Segment 19	610	0.0009	0.0007	86
Segment 20	650	0.0010	0.0008	90
Segment 21	703	0.0009	0.0007	90
Segment 22	693	0.0009	0.0007	89
Segment 23	758	0.0009	0.0006	88
Segment 24	905	0.0008	0.0007	90
Segment 25	603	0.0008	0.0007	90
Segment 26	430	0.0010	0.0006	88
Segment 27	472	0.0010	0.0008	89
Segment 28	474	0.0008	0.0007	90
Segment 29	504	0.0010	0.0006	88
Segment 30	543	0.0009	0.0007	88
Segment 31	546	0.0009	0.0006	88
Segment 32	670	0.0010	0.0008	89

Segment 33		676	0.0010	0.0006	87
Segment 34		773	0.0007	0.0007	88
Segment 35		943	0.0007	0.0006	90
Segment 36		1018	0.0009	0.0006	90
Segment 37		1078	0.0008	0.0006	88
Segment 38		1223	0.0009	0.0006	88
Segment 39		1403	0.0008	0.0007	89
Segment 40		1492	0.0008	0.0006	89
Segment 41		1622	0.0008	0.0006	89
Segment 42		1477	0.0007	0.0007	89
Segment 43		1318	0.0011	0.0005	87
Segment 44		860	0.0009	0.0006	90
Segment 45		421	0.0011	0.0005	88
Segment 46		454	0.0010	0.0006	90
Segment 47		556	0.0010	0.0005	89
Segment 48		584	0.0010	0.0006	89
Segment 49		684	0.0009	0.0006	90
Segment 50		764	0.0009	0.0006	89
Segment 51		855	0.0009	0.0006	88
Segment 52		1048	0.0009	0.0006	89
Segment 53		1260	0.0008	0.0006	89
Segment 54		1538	0.0009	0.0006	90
Segment 55		1864	0.0009	0.0007	89
Segment 56		2410	0.0009	0.0007	88
Segment 57		2938	0.0008	0.0007	89
Segment 58		3237	0.0007	0.0007	88
Segment 59		3417	0.0008	0.0008	88
Segment 60		2216	0.0008	0.0007	88
Segment 61		838	0.0008	0.0006	88

Priloga B: IZRAČUNI PARAMETROV IZRAVNANIH RAVNIN DOLVODNE TIRNICE HEK

IZRAČUNI PARAMETROV IZRAVNANIH RAVNIN

MAGISTRSKO DELO
Kontrolne meritve žerjavne proge s terestričnim laserskim skeniranjem
Avtor: Jan Možina
Datum in čas: 24. FEBRUAR 2016 17:28:23.8

GOSTOTA TOČK, NATANČNOSTI ZGORNJIH IN STRANSKIH IZRAVNANIH RAVNIN
TER KOTI MED RAVNINAMA (NORMALAMA)

	Gostota	NAT_rz	NAT_rs	kot
	točk	[m]	[m]	[°]
Segment 1	214	0.0006	0.0009	83
Segment 2	276	0.0007	0.0009	86
Segment 3	336	0.0010	0.0008	89
Segment 4	340	0.0009	0.0008	88
Segment 5	336	0.0009	0.0009	89
Segment 6	361	0.0009	0.0009	88
Segment 7	394	0.0008	0.0008	88
Segment 8	386	0.0007	0.0010	88
Segment 9	427	0.0008	0.0008	88
Segment 10	406	0.0008	0.0008	87
Segment 11	452	0.0009	0.0008	90
Segment 12	478	0.0009	0.0009	89
Segment 13	521	0.0009	0.0008	88
Segment 14	541	0.0008	0.0008	89
Segment 15	590	0.0009	0.0008	90
Segment 16	670	0.0008	0.0008	90
Segment 17	803	0.0008	0.0008	89
Segment 18	666	0.0008	0.0008	88
Segment 19	462	0.0008	0.0008	87
Segment 20	474	0.0008	0.0009	86
Segment 21	534	0.0008	0.0008	88
Segment 22	556	0.0008	0.0009	87
Segment 23	585	0.0007	0.0008	89
Segment 24	647	0.0007	0.0007	90
Segment 25	698	0.0008	0.0007	89
Segment 26	738	0.0007	0.0008	89
Segment 27	864	0.0008	0.0007	89
Segment 28	905	0.0008	0.0007	90
Segment 29	952	0.0009	0.0007	88
Segment 30	1064	0.0007	0.0007	88
Segment 31	1131	0.0008	0.0007	90
Segment 32	1192	0.0007	0.0007	89

Segment 33		1433	0.0006	0.0008	89
Segment 34		1659	0.0006	0.0007	90
Segment 35		1951	0.0007	0.0007	90
Segment 36		2134	0.0007	0.0008	89
Segment 37		2215	0.0007	0.0007	90
Segment 38		1120	0.0007	0.0007	89
Segment 39		981	0.0007	0.0006	90
Segment 40		1086	0.0007	0.0006	89
Segment 41		1189	0.0006	0.0007	90
Segment 42		1277	0.0007	0.0007	89
Segment 43		1428	0.0006	0.0008	88
Segment 44		1579	0.0007	0.0007	90
Segment 45		1686	0.0008	0.0007	89
Segment 46		1834	0.0008	0.0007	89
Segment 47		2201	0.0007	0.0008	88
Segment 48		2393	0.0006	0.0008	89
Segment 49		2753	0.0006	0.0007	89
Segment 50		2292	0.0007	0.0007	88
Segment 51		1699	0.0007	0.0008	88
Segment 52		2039	0.0008	0.0009	88
Segment 53		2189	0.0008	0.0009	89
Segment 54		2594	0.0008	0.0009	89
Segment 55		3077	0.0007	0.0009	89
Segment 56		3658	0.0008	0.0009	89
Segment 57		4016	0.0008	0.0009	89
Segment 58		4039	0.0008	0.0011	88
Segment 59		3603	0.0009	0.0009	88
Segment 60		3559	0.0007	0.0008	89
Segment 61		1530	0.0008	0.0008	89

Priloga C: IZRAČUNI PARAMETROV IZRAVNANIH RAVNIN JUŽNE TIRNICE TEB

IZRAČUNI PARAMETROV IZRAVNANIH RAVNIN

MAGISTRSKO DELO

Kontrolne meritve žerjavne proge s terestričnim laserskim skeniranjem

Avtor: Jan Možina

Datum in čas: 24. FEBRUAR 2016 17:36:20.0

GOSTOTA TOČK, NATANČNOSTI ZGORNJIH IN STRANSKIH IZRAVNANIH RAVNIN TER KOTI MED RAVNINAMA (NORMALAMA)

	Gostota	NAT_rz	NAT_rs	kot
	točk	[m]	[m]	[°]
Segment 1	14202	0.0010	0.0012	89
Segment 2	14877	0.0010	0.0012	90
Segment 3	14120	0.0010	0.0012	90
Segment 4	12324	0.0008	0.0012	88
Segment 5	12542	0.0008	0.0012	90
Segment 6	11592	0.0010	0.0011	89
Segment 7	10199	0.0009	0.0011	87
Segment 8	9300	0.0008	0.0010	88
Segment 9	10495	0.0009	0.0011	88
Segment 10	9940	0.0008	0.0011	90
Segment 11	8371	0.0008	0.0010	90
Segment 12	6832	0.0007	0.0010	90
Segment 13	6630	0.0007	0.0010	87
Segment 14	6396	0.0006	0.0009	87
Segment 15	5569	0.0009	0.0009	87
Segment 16	5315	0.0007	0.0009	87
Segment 17	5201	0.0007	0.0010	86
Segment 18	4398	0.0007	0.0010	86
Segment 19	3669	0.0007	0.0008	85
Segment 20	3735	0.0007	0.0008	88
Segment 21	3748	0.0007	0.0009	88
Segment 22	3034	0.0009	0.0009	88
Segment 23	2784	0.0009	0.0008	88
Segment 24	2581	0.0011	0.0011	89
Segment 25	2408	0.0010	0.0009	87
Segment 26	2111	0.0011	0.0009	88
Segment 27	1962	0.0011	0.0009	87
Segment 28	1803	0.0008	0.0011	88
Segment 29	1725	0.0009	0.0010	88
Segment 30	1413	0.0009	0.0009	88
Segment 31	1319	0.0009	0.0009	90
Segment 32	1219	0.0011	0.0009	89
Segment 33	1494	0.0012	0.0010	89
Segment 34	1226	0.0012	0.0010	89

Segment 35	1206	0.0013	0.0010	89
Segment 36	1085	0.0013	0.0011	88
Segment 37	952	0.0012	0.0011	87
Segment 38	871	0.0014	0.0010	89
Segment 39	943	0.0012	0.0012	87
Segment 40	906	0.0013	0.0012	89
Segment 41	810	0.0012	0.0011	88
Segment 42	745	0.0014	0.0011	87
Segment 43	696	0.0014	0.0011	90
Segment 44	679	0.0013	0.0011	89
Segment 45	538	0.0011	0.0010	89
Segment 46	507	0.0010	0.0011	90
Segment 47	414	0.0011	0.0010	89

Priloga D: IZRAČUNI PARAMETROV IZRAVNANIH RAVNIN SEVERNE TIRNICE TEB

IZRAČUNI PARAMETROV IZRAVNANIH RAVNIN

MAGISTRSKO DELO
Kontrolne meritve žerjavne proge s terestričnim laserskim skeniranjem
Avtor: Jan Možina
Datum in čas: 24. FEBRUAR 2016 17:39:58.1

GOSTOTA TOČK, NATANČNOSTI ZGORNJIH IN STRANSKIH IZRAVNANIH RAVNIN
TER KOTI MED RAVNINAMA (NORMALAMA)

	Gostota točk	NAT_rz [m]	NAT_rs [m]	kot [°]
Segment 1	396759	0.0014	0.0011	77
Segment 2	292892	0.0012	0.0010	77
Segment 3	194120	0.0011	0.0009	77
Segment 4	146190	0.0010	0.0007	80
Segment 5	106601	0.0008	0.0006	80
Segment 6	79809	0.0008	0.0007	77
Segment 7	62160	0.0008	0.0009	82
Segment 8	50141	0.0009	0.0006	85
Segment 9	38755	0.0007	0.0006	89
Segment 10	31363	0.0007	0.0005	85
Segment 11	24481	0.0005	0.0006	86
Segment 12	20255	0.0006	0.0006	89
Segment 13	17327	0.0005	0.0005	86
Segment 14	14848	0.0006	0.0005	86
Segment 15	12318	0.0005	0.0005	87
Segment 16	11073	0.0005	0.0005	87
Segment 17	9334	0.0005	0.0006	89
Segment 18	8092	0.0005	0.0006	88
Segment 19	6998	0.0005	0.0006	89
Segment 20	6150	0.0006	0.0005	88
Segment 21	5377	0.0005	0.0006	87
Segment 22	4767	0.0005	0.0005	81
Segment 23	3948	0.0005	0.0005	86
Segment 24	3442	0.0007	0.0008	88
Segment 25	3126	0.0005	0.0006	89
Segment 26	3099	0.0007	0.0006	90
Segment 27	2756	0.0006	0.0006	86
Segment 28	2462	0.0006	0.0006	88
Segment 29	2139	0.0005	0.0006	86
Segment 30	2035	0.0006	0.0005	90
Segment 31	2009	0.0005	0.0005	87
Segment 32	1836	0.0006	0.0005	88
Segment 33	1740	0.0006	0.0006	89
Segment 34	1594	0.0005	0.0007	83
Segment 35	1480	0.0006	0.0006	88
Segment 36	1361	0.0009	0.0007	87
Segment 37	1329	0.0008	0.0007	90
Segment 38	1241	0.0006	0.0008	89
Segment 39	1100	0.0007	0.0008	89
Segment 40	1057	0.0007	0.0007	89
Segment 41	962	0.0008	0.0005	86
Segment 42	887	0.0008	0.0008	88
Segment 43	825	0.0008	0.0006	88

Segment 44	788	0.0007	0.0006	89
Segment 45	744	0.0008	0.0007	90
Segment 46	675	0.0007	0.0007	89
Segment 47	354	0.0012	0.0005	89

**Priloga E: IZRAVNANE KOORDINATE IN NATANČNOSTI KARAKTERISTIČNIH TOČK
ŽERJAVNE PROGE HEK NA OSNOVI KLASIČNE POLARNE METODE
DETAJLNE IZMERE**

IZRAVNANE KOORDINATE IN NATANČNOSTI KARAKTERISTIČNIH TOČK

MAGISTRSKO DELO
Kontrolne meritve žerjavne proge s terestričnim laserskim skeniranjem
Avtor: Jan Možina
Datum in čas: 1. MAREC 2016 00:08:15.0

DOLVODNA TIRNICA

	X	Y	Z	NAT_kt
	[m]	[m]	[m]	[m]
Segment 1	1360.7660	665.6891	98.9525	0.9973
Segment 2	1360.7651	667.4883	98.9528	0.9973
Segment 3	1360.7634	669.2453	98.9525	0.9973
Segment 4	1360.7614	671.0001	98.9523	0.9973
Segment 5	1360.7603	672.7545	98.9522	0.9973
Segment 6	1360.7583	674.4990	98.9528	0.9973
Segment 7	1360.7571	676.5841	98.9528	0.9973
Segment 8	1360.7567	678.5333	98.9526	0.9973
Segment 9	1360.7551	680.4090	98.9519	0.9973
Segment 10	1360.7551	682.0746	98.9532	0.9973
Segment 11	1360.7540	683.8642	98.9538	0.9973
Segment 12	1360.7530	685.6446	98.9518	0.9973
Segment 13	1360.7534	687.4323	98.9509	0.9973
Segment 14	1360.7531	689.2541	98.9512	0.9973
Segment 15	1360.7528	691.0662	98.9529	0.9973
Segment 16	1360.7521	692.6310	98.9519	0.9973
Segment 17	1360.7522	694.3258	98.9523	0.9973
Segment 18	1360.7519	696.1583	98.9523	0.9973
Segment 19	1360.7523	697.9543	98.9532	0.9973
Segment 20	1360.7512	699.7759	98.9523	0.9973
Segment 21	1360.7523	701.5783	98.9527	0.9973
Segment 22	1360.7535	703.6071	98.9523	0.9973
Segment 23	1360.7542	705.1206	98.9530	0.9973
Segment 24	1360.7555	706.9091	98.9523	0.9973
Segment 25	1360.7560	708.7123	98.9520	0.9973
Segment 26	1360.7560	710.5251	98.9528	0.9973
Segment 27	1360.7545	712.4349	98.9538	0.9973
Segment 28	1360.7543	714.2403	98.9539	0.9973
Segment 29	1360.7544	716.0385	98.9531	0.9973
Segment 30	1360.7543	717.8483	98.9527	0.9973
Segment 31	1360.7529	719.6455	98.9530	0.9973
Segment 32	1360.7538	721.4530	98.9540	0.9973

Segment 33		1360.7572	723.2610	98.9541	0.9973
Segment 34		1360.7587	725.0521	98.9534	0.9973

GORVODNA TIRNICA

		X	Y	Z	NAT_kt
		[m]	[m]	[m]	[m]
Segment 1		1373.7787	666.0770	98.9481	0.9269
Segment 2		1373.7795	667.8724	98.9476	0.9269
Segment 3		1373.7778	669.6771	98.9482	0.9269
Segment 4		1373.7771	671.4564	98.9477	0.9269
Segment 5		1373.7766	673.2505	98.9484	0.9269
Segment 6		1373.7770	675.0430	98.9469	0.9269
Segment 7		1373.7760	676.8885	98.9487	0.9269
Segment 8		1373.7759	678.5051	98.9481	0.9269
Segment 9		1373.7755	680.4011	98.9489	0.9269
Segment 10		1373.7761	682.1830	98.9480	0.9269
Segment 11		1373.7748	683.9439	98.9489	0.9269
Segment 12		1373.7752	685.7125	98.9492	0.9269
Segment 13		1373.7761	687.5129	98.9482	0.9269
Segment 14		1373.7761	689.3044	98.9477	0.9269
Segment 15		1373.7768	691.1319	98.9479	0.9269
Segment 16		1373.7771	692.5124	98.9479	0.9269
Segment 17		1373.7777	694.3067	98.9464	0.9269
Segment 18		1373.7781	696.1071	98.9469	0.9269
Segment 19		1373.7782	697.9350	98.9478	0.9269
Segment 20		1373.7785	699.7204	98.9482	0.9269
Segment 21		1373.7785	701.5364	98.9483	0.9269
Segment 22		1373.7776	703.4410	98.9487	0.9269
Segment 23		1373.7777	705.1320	98.9503	0.9269
Segment 24		1373.7783	706.9226	98.9508	0.9269
Segment 25		1373.7780	708.7385	98.9525	0.9269
Segment 26		1373.7782	710.5336	98.9504	0.9269
Segment 27		1373.7781	712.4503	98.9517	0.9269
Segment 28		1373.7780	714.2538	98.9511	0.9269
Segment 29		1373.7787	716.0616	98.9514	0.9269
Segment 30		1373.7785	717.8563	98.9521	0.9269
Segment 31		1373.7782	719.6418	98.9536	0.9269
Segment 32		1373.7811	721.4590	98.9550	0.9269
Segment 33		1373.7842	723.2740	98.9538	0.9269
Segment 34		1373.7843	725.0717	98.9528	0.9269

**Priloga F: IZRAVNANE KOORDINATE IN NATANČNOSTI KARAKTERISTIČNIH TOČK
ŽERJAVNE PROGE HEK NA OSNOVI METODE TLS**

IZRAVNANE KOORDINATE IN NATANČNOSTI KARAKTERISTIČNIH TOČK

MAGISTRSKO DELO
Kontrolne meritve žerjavne proge s terestričnim laserskim skeniranjem
Avtor: Jan Možina
Datum in čas: 1. MAREC 2016 01:16:18.8

DOLVODNA TIRNICA

	X	Y	Z	NAT_kt
	[m]	[m]	[m]	[m]
Segment 1	1360.7739	666.0017	98.9531	0.0011
Segment 2	1360.7700	667.0017	98.9526	0.0012
Segment 3	1360.7700	668.0017	98.9517	0.0013
Segment 4	1360.7702	669.0017	98.9514	0.0012
Segment 5	1360.7687	670.0017	98.9520	0.0012
Segment 6	1360.7681	671.0017	98.9518	0.0012
Segment 7	1360.7672	672.0017	98.9510	0.0012
Segment 8	1360.7665	673.0017	98.9516	0.0012
Segment 9	1360.7650	674.0017	98.9517	0.0011
Segment 10	1360.7649	675.0017	98.9521	0.0011
Segment 11	1360.7639	676.0017	98.9519	0.0012
Segment 12	1360.7630	677.0017	98.9510	0.0012
Segment 13	1360.7620	678.0017	98.9514	0.0012
Segment 14	1360.7621	679.0017	98.9511	0.0011
Segment 15	1360.7614	680.0017	98.9500	0.0012
Segment 16	1360.7607	681.0017	98.9503	0.0011
Segment 17	1360.7612	682.0017	98.9513	0.0011
Segment 18	1360.7608	683.0017	98.9511	0.0011
Segment 19	1360.7604	684.0017	98.9520	0.0011
Segment 20	1360.7604	685.0017	98.9510	0.0012
Segment 21	1360.7593	686.0017	98.9493	0.0011
Segment 22	1360.7604	687.0017	98.9489	0.0012
Segment 23	1360.7592	688.0017	98.9492	0.0011
Segment 24	1360.7585	689.0017	98.9490	0.0010
Segment 25	1360.7584	690.0017	98.9492	0.0011
Segment 26	1360.7579	691.0017	98.9502	0.0010
Segment 27	1360.7575	692.0017	98.9495	0.0011
Segment 28	1360.7577	693.0017	98.9493	0.0011
Segment 29	1360.7583	694.0017	98.9497	0.0011
Segment 30	1360.7585	695.0017	98.9492	0.0010
Segment 31	1360.7576	696.0017	98.9491	0.0010
Segment 32	1360.7576	697.0017	98.9493	0.0010
Segment 33	1360.7580	698.0017	98.9499	0.0010

Segment 34		1360.7574	699.0017	98.9495	0.0009
Segment 35		1360.7570	700.0017	98.9491	0.0010
Segment 36		1360.7576	701.0017	98.9489	0.0011
Segment 37		1360.7586	702.0017	98.9490	0.0010
Segment 38		1360.7592	703.0017	98.9492	0.0010
Segment 39		1360.7593	704.0017	98.9487	0.0009
Segment 40		1360.7596	705.0017	98.9489	0.0009
Segment 41		1360.7606	706.0017	98.9482	0.0009
Segment 42		1360.7609	707.0017	98.9473	0.0010
Segment 43		1360.7618	708.0017	98.9471	0.0010
Segment 44		1360.7619	709.0017	98.9476	0.0010
Segment 45		1360.7612	710.0017	98.9481	0.0010
Segment 46		1360.7617	711.0017	98.9482	0.0011
Segment 47		1360.7605	712.0017	98.9481	0.0010
Segment 48		1360.7602	713.0017	98.9479	0.0010
Segment 49		1360.7598	714.0017	98.9479	0.0009
Segment 50		1360.7596	715.0017	98.9467	0.0010
Segment 51		1360.7599	716.0017	98.9471	0.0010
Segment 52		1360.7596	717.0017	98.9465	0.0012
Segment 53		1360.7593	718.0017	98.9468	0.0012
Segment 54		1360.7585	719.0017	98.9467	0.0012
Segment 55		1360.7581	720.0017	98.9462	0.0011
Segment 56		1360.7583	721.0017	98.9466	0.0012
Segment 57		1360.7599	722.0017	98.9468	0.0012
Segment 58		1360.7621	723.0017	98.9467	0.0014
Segment 59		1360.7644	724.0016	98.9468	0.0012
Segment 60		1360.7643	725.0016	98.9458	0.0011
Segment 61		1360.7660	726.0016	98.9441	0.0011

Povprečna natančnost KT točk: 1.1 mm
 Najslabša natančnost KT točk: 1.4 mm
 Najboljša natančnost KT točk: 0.9 mm

GORVODNA TIRNICA

		X	Y	Z	NAT_kt
		[m]	[m]	[m]	[m]
Segment 1		1373.7848	666.0017	98.9507	0.0014
Segment 2		1373.7851	667.0017	98.9497	0.0012
Segment 3		1373.7856	668.0017	98.9493	0.0012
Segment 4		1373.7841	669.0017	98.9498	0.0012
Segment 5		1373.7828	670.0017	98.9494	0.0014
Segment 6		1373.7843	671.0017	98.9484	0.0013
Segment 7		1373.7832	672.0017	98.9480	0.0013
Segment 8		1373.7829	673.0017	98.9494	0.0013
Segment 9		1373.7823	674.0017	98.9482	0.0012

Segment 10		1373.7824	675.0017	98.9446	0.0011
Segment 11		1373.7823	676.0017	98.9482	0.0013
Segment 12		1373.7815	677.0017	98.9483	0.0014
Segment 13		1373.7816	678.0017	98.9487	0.0013
Segment 14		1373.7825	679.0017	98.9485	0.0013
Segment 15		1373.7819	680.0017	98.9483	0.0013
Segment 16		1373.7820	681.0017	98.9492	0.0013
Segment 17		1373.7819	682.0017	98.9474	0.0013
Segment 18		1373.7815	683.0017	98.9474	0.0013
Segment 19		1373.7803	684.0017	98.9487	0.0012
Segment 20		1373.7815	685.0017	98.9490	0.0012
Segment 21		1373.7819	686.0017	98.9481	0.0012
Segment 22		1373.7822	687.0017	98.9472	0.0011
Segment 23		1373.7823	688.0017	98.9466	0.0011
Segment 24		1373.7828	689.0017	98.9458	0.0011
Segment 25		1373.7832	690.0017	98.9456	0.0011
Segment 26		1373.7828	691.0017	98.9452	0.0011
Segment 27		1373.7834	692.0017	98.9450	0.0012
Segment 28		1373.7841	693.0017	98.9454	0.0011
Segment 29		1373.7844	694.0017	98.9448	0.0012
Segment 30		1373.7844	695.0017	98.9439	0.0011
Segment 31		1373.7841	696.0017	98.9438	0.0010
Segment 32		1373.7847	697.0017	98.9443	0.0013
Segment 33		1373.7842	698.0017	98.9448	0.0012
Segment 34		1373.7845	699.0017	98.9442	0.0010
Segment 35		1373.7851	700.0017	98.9441	0.0009
Segment 36		1373.7858	701.0017	98.9451	0.0011
Segment 37		1373.7851	702.0017	98.9448	0.0010
Segment 38		1373.7849	703.0017	98.9452	0.0011
Segment 39		1373.7844	704.0017	98.9453	0.0010
Segment 40		1373.7847	705.0017	98.9459	0.0010
Segment 41		1373.7853	706.0017	98.9459	0.0010
Segment 42		1373.7855	707.0017	98.9452	0.0010
Segment 43		1373.7849	708.0017	98.9472	0.0012
Segment 44		1373.7854	709.0017	98.9469	0.0010
Segment 45		1373.7849	710.0017	98.9452	0.0012
Segment 46		1373.7851	711.0017	98.9457	0.0012
Segment 47		1373.7850	712.0017	98.9470	0.0012
Segment 48		1373.7851	713.0017	98.9458	0.0012
Segment 49		1373.7853	714.0017	98.9451	0.0011
Segment 50		1373.7851	715.0017	98.9450	0.0010
Segment 51		1373.7851	716.0017	98.9455	0.0011
Segment 52		1373.7857	717.0017	98.9451	0.0011
Segment 53		1373.7857	718.0017	98.9459	0.0011
Segment 54		1373.7856	719.0017	98.9469	0.0011
Segment 55		1373.7853	720.0017	98.9462	0.0011
Segment 56		1373.7867	721.0017	98.9468	0.0011
Segment 57		1373.7898	722.0017	98.9471	0.0010
Segment 58		1373.7908	723.0017	98.9458	0.0010
Segment 59		1373.7914	724.0016	98.9451	0.0012
Segment 60		1373.7912	725.0016	98.9455	0.0011

Segment 61 | 1373.7912 726.0016 98.9463 0.0010

Povprečna natančnost KT točk: 1.2 mm

Najslabša natančnost KT točk: 1.4 mm

Najboljša natančnost KT točk: 0.9 mm

Priloga G: IZRAVNANE KOORDINATE IN NATANČNOSTI KARAKTERISTIČNIH TOČK ŽERJAVNE PROGE TEB

IZRAVNANE KOORDINATE IN NATANČNOSTI KARAKTERISTIČNIH TOČK

MAGISTRSKO DELO
Kontrolne meritve žerjavne proge s terestričnim laserskim skeniranjem
Avtor: Jan Možina
Datum in čas: 3. MAREC 2016 20:17:20.1

JUŽNA TIRNICA

	X	Y	Z	NAT_kt
	[m]	[m]	[m]	[m]
Segment 1	39.1034	111.7212	281.3051	0.0016
Segment 2	39.1028	112.7212	281.3052	0.0016
Segment 3	39.1018	113.7212	281.3046	0.0016
Segment 4	39.1020	114.7212	281.3047	0.0014
Segment 5	39.1021	115.7211	281.3028	0.0014
Segment 6	39.1028	116.7211	281.3010	0.0015
Segment 7	39.1025	117.7211	281.2999	0.0014
Segment 8	39.1023	118.7211	281.3003	0.0013
Segment 9	39.1030	119.7211	281.3005	0.0014
Segment 10	39.1007	120.7211	281.3011	0.0014
Segment 11	39.1028	121.7211	281.3021	0.0013
Segment 12	39.1024	122.7211	281.3024	0.0012
Segment 13	39.1026	123.7211	281.3025	0.0012
Segment 14	39.1028	124.7211	281.3031	0.0011
Segment 15	39.1033	125.7211	281.3045	0.0013
Segment 16	39.1039	126.7211	281.3059	0.0012
Segment 17	39.1040	127.7211	281.3073	0.0012
Segment 18	39.1030	128.7211	281.3080	0.0012
Segment 19	39.1041	129.7211	281.3063	0.0011
Segment 20	39.1037	130.7211	281.3043	0.0011
Segment 21	39.1044	131.7211	281.3025	0.0012
Segment 22	39.1046	132.7211	281.3027	0.0013
Segment 23	39.1049	133.7211	281.3029	0.0012
Segment 24	39.1025	134.7211	281.3024	0.0016
Segment 25	39.1000	135.7211	281.3025	0.0013
Segment 26	39.1008	136.7211	281.3024	0.0015
Segment 27	39.0997	137.7211	281.3026	0.0015
Segment 28	39.0996	138.7211	281.3031	0.0013
Segment 29	39.1011	139.7211	281.3029	0.0013
Segment 30	39.1006	140.7211	281.3041	0.0013
Segment 31	39.1000	141.7211	281.3043	0.0013
Segment 32	39.0996	142.7211	281.3050	0.0014
Segment 33	39.0997	143.7211	281.3052	0.0016

Segment 34		39.1003	144.7211	281.3069	0.0016
Segment 35		39.1002	145.7211	281.3073	0.0017
Segment 36		39.1012	146.7211	281.3074	0.0017
Segment 37		39.1008	147.7211	281.3089	0.0016
Segment 38		39.1007	148.7211	281.3087	0.0017
Segment 39		39.1021	149.7211	281.3087	0.0017
Segment 40		39.1011	150.7211	281.3087	0.0018
Segment 41		39.1016	151.7211	281.3085	0.0017
Segment 42		39.1019	152.7211	281.3072	0.0018
Segment 43		39.1010	153.7211	281.3078	0.0018
Segment 44		39.1011	154.7211	281.3087	0.0018
Segment 45		39.1024	155.7211	281.3108	0.0015
Segment 46		39.1033	156.7211	281.3117	0.0015
Segment 47		39.1035	157.7211	281.3132	0.0015

Povprečna natančnost KT točk: 1.4 mm

Najslabša natančnost KT točk: 1.8 mm

Najboljša natančnost KT točk: 1.1 mm

SEVERNA TIRNICA

		X	Y	Z	NAT_kt
		[m]	[m]	[m]	[m]
Segment 1		58.2959	111.7212	281.3026	0.0017
Segment 2		58.2960	112.7212	281.3036	0.0016
Segment 3		58.2971	113.7212	281.3027	0.0014
Segment 4		58.2987	114.7212	281.3014	0.0012
Segment 5		58.2982	115.7211	281.3014	0.0011
Segment 6		58.2969	116.7211	281.3027	0.0011
Segment 7		58.3000	117.7211	281.3041	0.0012
Segment 8		58.3029	118.7211	281.3042	0.0011
Segment 9		58.3033	119.7211	281.3042	0.0010
Segment 10		58.3050	120.7211	281.3045	0.0008
Segment 11		58.3045	121.7211	281.3051	0.0008
Segment 12		58.3022	122.7211	281.3056	0.0008
Segment 13		58.3032	123.7211	281.3062	0.0007
Segment 14		58.3023	124.7211	281.3062	0.0008
Segment 15		58.3024	125.7211	281.3062	0.0007
Segment 16		58.3031	126.7211	281.3057	0.0007
Segment 17		58.3018	127.7211	281.3058	0.0008
Segment 18		58.3016	128.7211	281.3049	0.0008
Segment 19		58.3017	129.7211	281.3038	0.0008
Segment 20		58.3028	130.7211	281.3028	0.0007
Segment 21		58.3038	131.7211	281.3020	0.0008
Segment 22		58.3041	132.7211	281.3015	0.0007
Segment 23		58.3031	133.7211	281.3013	0.0007

Segment 24		58.3039	134.7211	281.3019	0.0010
Segment 25		58.3060	135.7211	281.3005	0.0008
Segment 26		58.3048	136.7211	281.2990	0.0009
Segment 27		58.3045	137.7211	281.2987	0.0009
Segment 28		58.3062	138.7211	281.2987	0.0008
Segment 29		58.3064	139.7211	281.2985	0.0008
Segment 30		58.3055	140.7211	281.2985	0.0008
Segment 31		58.3043	141.7211	281.2993	0.0007
Segment 32		58.3042	142.7211	281.2997	0.0008
Segment 33		58.3037	143.7211	281.2986	0.0009
Segment 34		58.3018	144.7211	281.2994	0.0009
Segment 35		58.3035	145.7211	281.2999	0.0008
Segment 36		58.3032	146.7211	281.2993	0.0012
Segment 37		58.3031	147.7211	281.2999	0.0011
Segment 38		58.3019	148.7211	281.3004	0.0010
Segment 39		58.3010	149.7211	281.3020	0.0010
Segment 40		58.3012	150.7211	281.3027	0.0010
Segment 41		58.3015	151.7211	281.3038	0.0009
Segment 42		58.3000	152.7211	281.3050	0.0012
Segment 43		58.2999	153.7211	281.3072	0.0010
Segment 44		58.3000	154.7211	281.3082	0.0010
Segment 45		58.3002	155.7211	281.3090	0.0011
Segment 46		58.3003	156.7211	281.3098	0.0010
Segment 47		58.3066	157.7211	281.3082	0.0013

Povprečna natančnost KT točk: 1.0 mm
Najslabša natančnost KT točk: 1.7 mm
Najboljša natančnost KT točk: 0.7 mm

Ta stran je namenoma prazna.

Priloga H: PARAMETRI GEOMETRIJE TIRNIC ŽERJAVNE PROGE V ODVISNOSTI OD DOLŽINE SEGMENTOV

H.1: Dolžina segmenta je 2 m

IZRAČUN RAZPONA TIRNIC ŽERJAVNE PROGE

MAGISTRSKO DELO

Kontrolne meritve žerjavne proge s terestričnim laserskim skeniranjem

Avtor: Jan Možina

Datum in čas: 5. MAREC 2016 00:32:55.8

Vhodni parameter:

- Projektirani razpon žerjavne proge: 19.3000 m

- Širina glave tirnice: 0.1000 m

HORIZONTALNI POTEK ŽERJAVNE PROGE

Profil	Odmik južne tirnice [mm]	Odmik severne tirnice [mm]	Razpon [m]	Natančnost razpona [mm]	Kontrola razpona
1	-0.6	6.5	19.2929	1.6	Vredu
2	0.0	6.6	19.2934	1.6	Vredu
3	0.4	4.2	19.2961	1.5	Vredu
4	0.6	3.7	19.2969	1.5	Vredu
5	-0.3	4.3	19.2953	1.3	Vredu
6	-0.9	4.2	19.2949	1.3	Vredu
7	-0.4	0.8	19.2988	1.4	Vredu
8	-0.3	0.1	19.2996	1.4	Vredu
9	0.2	-2.0	19.3022	1.3	Vredu
10	1.8	-2.8	19.3046	1.3	Vredu
11	-0.7	-1.3	19.3006	1.3	Vredu
12	-0.4	0.1	19.2995	1.3	Vredu
13	-0.5	-0.4	19.2999	1.0	Vredu
14	-0.5	0.3	19.2992	1.0	Vredu
15	-1.5	-0.5	19.2990	1.0	Vredu
16	-1.9	-1.1	19.2992	1.0	Vredu
17	-1.4	0.4	19.2982	1.2	Vredu
18	-0.4	0.3	19.2992	1.2	Vredu
19	-1.6	-0.1	19.2985	1.0	Vredu
20	-1.8	-0.7	19.2988	1.0	Vredu
21	-2.3	-1.7	19.2994	1.1	Vredu
22	-2.6	-1.0	19.2984	1.1	Vredu
23	-2.0	-1.4	19.2995	1.3	Vredu
24	-0.7	-2.5	19.3018	1.3	Vredu
25	1.8	-2.9	19.3047	1.1	Vredu
26	1.4	-2.3	19.3037	1.1	Vredu
27	2.7	-3.6	19.3062	1.3	Vredu
28	2.9	-4.0	19.3070	1.3	Vredu
29	1.4	-3.8	19.3052	1.2	Vredu
30	1.6	-3.8	19.3054	1.2	Vredu
31	2.3	-1.8	19.3042	1.1	Vredu
32	3.2	-0.9	19.3041	1.1	Vredu
33	2.4	-0.5	19.3030	1.2	Vredu
34	1.7	-0.3	19.3020	1.2	Vredu
35	2.1	-1.1	19.3032	1.4	Vredu
36	2.4	-0.5	19.3029	1.4	Vredu
37	1.2	-0.7	19.3020	1.4	Vredu

38		1.1	0.4	19.3007	1.4	Vredu
39		0.5	1.1	19.2993	1.4	Vredu
40		0.8	1.1	19.2997	1.4	Vredu
41		0.4	1.4	19.2990	1.4	Vredu
42		0.8	2.4	19.2984	1.4	Vredu
43		1.4	2.1	19.2993	1.3	Vredu
44		0.7	1.4	19.2993	1.3	Vredu
45		-0.5	1.9	19.2975	1.3	Vredu
46		-1.9	1.5	19.2965	1.3	Vredu
47		-1.0	-19.4	19.3184	1.3	NI VREDU

Največje izmerjeno odstopanje razpona: 18.4 mm (Dovoljeno: 10 mm)

Najmanjše izmerjeno odstopanje razpona: 0.1 mm

Povprečno odstopanje razpona: 2.9 mm

Povprečna natančnost razpona: 1.3 mm

IZRAČUN VIŠINSKE RAZLIKE TIRNIC ŽERJAVNE PROGE

MAGISTRSKO DELO

Kontrolne meritve žerjavne proge s terestričnim laserskim skeniranjem

Avtor: Jan Možina

Datum in čas: 5. MAREC 2016 00:32:55.8

Vhodni parameter:

- Projektirani razpon žerjavne proge: 19.3000 m

- Širina glave tirnice: 0.1000 m

VERTIKALNI POTEK ŽERJAVNE PROGE

Profil	Odmik južne tirnice [mm]	Odmik severne tirnice [mm]	Višinska razlika [mm]	Natančnost višinske razlike [mm]	Kontrola višinske razlike	
1		1.0	-0.5	1.5	1.6	Vredu
2		0.8	-0.5	1.2	1.6	Vredu
3		0.6	-1.9	2.5	1.3	Vredu
4		0.2	-2.8	3.0	1.3	Vredu
5		-2.0	-2.1	0.1	1.3	Vredu
6		-4.4	-0.4	-4.0	1.3	Vredu
7		-4.0	0.1	-4.1	1.2	Vredu
8		-3.9	0.8	-4.7	1.2	Vredu
9		-3.4	0.2	-3.6	1.1	Vredu
10		-2.4	0.4	-2.8	1.1	Vredu
11		-1.9	1.2	-3.1	0.9	Vredu
12		-1.2	1.6	-2.7	0.9	Vredu
13		-1.3	2.1	-3.5	0.9	Vredu
14		-0.6	2.6	-3.2	0.9	Vredu
15		1.1	1.9	-0.8	0.9	Vredu
16		2.6	1.5	1.1	0.9	Vredu
17		3.6	1.3	2.3	1.1	Vredu
18		4.5	0.6	4.0	1.1	Vredu
19		1.3	-0.8	2.1	0.9	Vredu
20		-0.6	-1.7	1.1	0.9	Vredu
21		-1.5	-2.3	0.8	0.9	Vredu
22		-2.2	-2.8	0.7	0.9	Vredu
23		-1.5	-2.5	1.0	1.2	Vredu
24		-2.1	-2.1	0.1	1.2	Vredu
25		-1.8	-4.3	2.5	1.3	Vredu
26		-1.8	-5.8	4.0	1.3	Vredu
27		-1.3	-5.4	4.1	1.2	Vredu

28		-1.4	-5.4	4.1	1.2	Vredu
29		-0.6	-5.6	5.0	1.0	Vredu
30		0.2	-5.7	6.0	1.0	Vredu
31		0.5	-4.6	5.1	1.2	Vredu
32		1.1	-4.2	5.3	1.2	Vredu
33		1.9	-5.2	7.1	1.3	Vredu
34		3.5	-4.6	8.1	1.3	Vredu
35		3.2	-4.4	7.6	1.7	Vredu
36		4.1	-3.6	7.7	1.7	Vredu
37		4.8	-4.0	8.7	1.4	Vredu
38		4.9	-3.1	8.0	1.4	Vredu
39		4.7	-1.7	6.4	1.5	Vredu
40		5.0	-1.0	6.0	1.5	Vredu
41		3.7	0.4	3.3	1.5	Vredu
42		3.8	1.8	2.0	1.5	Vredu
43		4.8	3.5	1.3	1.4	Vredu
44		5.6	4.6	1.0	1.4	Vredu
45		7.0	5.3	1.6	1.4	Vredu
46		8.3	6.5	1.8	1.4	Vredu
47		9.4	2.2	7.1	1.6	Vredu

Največja izmerjena višinska razlika: 8.7 mm (Dovoljeno: 32.2 mm)
 Najmanjša izmerjena višinska razlika: 0.1 mm
 Povprečna višinska razlika: 3.6 mm
 Povprečna natančnost višinske razlike: 1.2 mm

H.2: Dolžina segmenta je 4 m

 IZRAČUN RAZPONA TIRNIC ŽERJAVNE PROGE

 MAGISTRSKO DELO
 Kontrolne meritve žerjavne proge s terestričnim laserskim skeniranjem
 Avtor: Jan Možina
 Datum in čas: 5. MAREC 2016 00:38:51.6

Vhodni parameter:
 - Projektirani razpon žerjavne proge: 19.3000 m
 - Širina glave tirnice: 0.1000 m

HORIZONTALNI POTEK ŽERJAVNE PROGE

Profil	Odmik južne tirnice [mm]	Odmik severne tirnice [mm]	Razpon [m]	Natančnost razpona [mm]	Kontrola razpona	
1		-0.2	5.3	19.2945	1.6	Vredu
2		0.5	4.8	19.2957	1.6	Vredu
3		1.2	4.4	19.2969	1.6	Vredu
4		1.9	3.9	19.2980	1.6	Vredu
5		-0.3	2.3	19.2974	1.4	Vredu
6		-0.2	1.7	19.2981	1.4	Vredu
7		-0.1	1.1	19.2988	1.4	Vredu
8		0.1	0.6	19.2995	1.4	Vredu
9		-0.1	-1.4	19.3013	1.6	Vredu
10		-0.1	-1.0	19.3009	1.6	Vredu
11		-0.1	-0.7	19.3005	1.6	Vredu
12		-0.2	-0.3	19.3001	1.6	Vredu
13		-0.9	-0.5	19.2995	1.1	Vredu
14		-1.3	-0.6	19.2992	1.1	Vredu

15		-1.7	-0.6	19.2989	1.1	Vredu
16		-2.1	-0.7	19.2986	1.1	Vredu
17		-1.4	0.3	19.2983	1.3	Vredu
18		-1.5	0.2	19.2983	1.3	Vredu
19		-1.5	0.2	19.2984	1.3	Vredu
20		-1.5	0.1	19.2984	1.3	Vredu
21		-2.4	-1.4	19.2990	1.3	Vredu
22		-2.4	-1.4	19.2990	1.3	Vredu
23		-2.4	-1.4	19.2990	1.3	Vredu
24		-2.4	-1.4	19.2990	1.3	Vredu
25		2.1	-3.4	19.3055	1.3	Vredu
26		2.2	-3.4	19.3057	1.3	Vredu
27		2.4	-3.5	19.3058	1.3	Vredu
28		2.5	-3.5	19.3060	1.3	Vredu
29		1.5	-2.7	19.3043	1.2	Vredu
30		1.9	-2.2	19.3041	1.2	Vredu
31		2.4	-1.7	19.3040	1.2	Vredu
32		2.8	-1.2	19.3039	1.2	Vredu
33		2.0	-1.2	19.3032	1.3	Vredu
34		1.8	-1.0	19.3028	1.3	Vredu
35		1.7	-0.9	19.3025	1.3	Vredu
36		1.5	-0.7	19.3022	1.3	Vredu
37		1.1	-0.0	19.3011	1.5	Vredu
38		0.9	0.7	19.3002	1.5	Vredu
39		0.7	1.3	19.2994	1.5	Vredu
40		0.5	2.0	19.2985	1.5	Vredu
41		0.7	1.5	19.2992	1.5	Vredu
42		0.8	1.8	19.2990	1.5	Vredu
43		0.8	2.1	19.2988	1.5	Vredu
44		0.9	2.3	19.2986	1.5	Vredu
45		-1.6	1.4	19.2970	1.4	Vredu
46		-2.6	0.8	19.2966	1.4	Vredu
47		-3.7	0.2	19.2962	1.4	Vredu

Največje izmerjeno odstopanje razpona: 6.0 mm (Dovoljeno: 10 mm)
 Najmanjše izmerjeno odstopanje razpona: 0.1 mm
 Povprečno odstopanje razpona: 2.3 mm
 Povprečna natančnost razpona: 1.4 mm

 IZRAČUN VIŠINSKE RAZLIKE TIRNIC ŽERJAVNE PROGE

MAGISTRSKO DELO

Kontrolne meritve žerjavne proge s terestričnim laserskim skeniranjem

Avtor: Jan Možina

Datum in čas: 5. MAREC 2016 00:42:05.4

Vhodni parameter:

- Projektirani razpon žerjavne proge: 19.3000 m
- Širina glave tirnice: 0.1000 m

VERTIKALNI POTEK ŽERJAVNE PROGE

Profil	Odmik južne tirnice [mm]	Odmik severne tirnice [mm]	Višinska razlika [mm]	Natančnost višinske razlike [mm]	Kontrola višinske razlike	
1		0.6	-1.5	2.1	1.5	Vredu
2		0.4	-1.9	2.4	1.5	Vredu
3		0.2	-2.4	2.6	1.5	Vredu
4		-0.0	-2.9	2.9	1.5	Vredu

5		-3.0	-1.5	-1.5	1.4	Vredu
6		-4.0	0.1	-4.1	1.4	Vredu
7		-5.0	1.6	-6.7	1.4	Vredu
8		-6.1	3.2	-9.2	1.4	Vredu
9		-3.0	0.4	-3.4	1.1	Vredu
10		-2.1	0.7	-2.8	1.1	Vredu
11		-1.1	1.0	-2.2	1.1	Vredu
12		-0.2	1.4	-1.6	1.1	Vredu
13		-0.5	1.8	-2.3	1.0	Vredu
14		0.5	1.9	-1.4	1.0	Vredu
15		1.6	2.0	-0.4	1.0	Vredu
16		2.7	2.1	0.5	1.0	Vredu
17		2.4	0.2	2.2	1.3	Vredu
18		1.6	-0.7	2.3	1.3	Vredu
19		0.8	-1.6	2.4	1.3	Vredu
20		-0.1	-2.6	2.5	1.3	Vredu
21		-1.8	-2.6	0.9	1.2	Vredu
22		-2.2	-2.8	0.6	1.2	Vredu
23		-2.5	-2.9	0.4	1.2	Vredu
24		-2.9	-3.0	0.1	1.2	Vredu
25		-1.8	-5.0	3.2	1.3	Vredu
26		-1.8	-5.7	3.8	1.3	Vredu
27		-1.9	-6.4	4.5	1.3	Vredu
28		-1.9	-7.1	5.2	1.3	Vredu
29		-0.3	-5.4	5.1	1.1	Vredu
30		0.3	-5.0	5.3	1.1	Vredu
31		0.9	-4.6	5.5	1.1	Vredu
32		1.6	-4.2	5.7	1.1	Vredu
33		2.1	-5.1	7.2	1.5	Vredu
34		3.1	-4.5	7.6	1.5	Vredu
35		4.0	-4.0	8.0	1.5	Vredu
36		5.0	-3.4	8.4	1.5	Vredu
37		4.5	-3.3	7.8	1.4	Vredu
38		4.7	-2.0	6.8	1.4	Vredu
39		5.0	-0.8	5.8	1.4	Vredu
40		5.2	0.5	4.7	1.4	Vredu
41		3.6	1.5	2.1	1.5	Vredu
42		3.8	2.8	1.0	1.5	Vredu
43		4.1	4.1	-0.0	1.5	Vredu
44		4.4	5.4	-1.0	1.5	Vredu
45		8.0	5.3	2.7	1.5	Vredu
46		9.5	5.7	3.9	1.5	Vredu
47		11.0	6.0	5.0	1.5	Vredu

Največja izmerjena višinska razlika: 9.2 mm (Dovoljeno: 32.2 mm)
Najmanjša izmerjena višinska razlika: 0.0 mm
Povprečna višinska razlika: 3.6 mm
Povprečna natančnost višinske razlike: 1.3 mm

H.3: Dolžina segmenta je 8 m

IZRAČUN RAZPONA TIRNIC ŽERJAVNE PROGE

MAGISTRSKO DELO
Kontrolne meritve žerjavne proge s terestričnim laserskim skeniranjem
Avtor: Jan Možina
Datum in čas: 5. MAREC 2016 00:45:38.1

Vhodni parameter:
- Projektirani razpon žerjavne proge: 19.3000 m

- Širina glave tirnice: 0.1000 m

HORIZONTALNI POTEK ŽERJAVNE PROGE

Profil	Odmik južne tirnice [mm]	Odmik severne tirnice [mm]	Razpon [m]	Natančnost razpona [mm]	Kontrola razpona
1	-0.4	3.6	19.2961	1.6	Vredu
2	-0.2	3.2	19.2966	1.6	Vredu
3	-0.0	2.8	19.2972	1.6	Vredu
4	0.1	2.4	19.2978	1.6	Vredu
5	0.3	2.0	19.2983	1.6	Vredu
6	0.5	1.6	19.2989	1.6	Vredu
7	0.7	1.2	19.2995	1.6	Vredu
8	0.8	0.8	19.3000	1.6	Vredu
9	-0.6	-1.4	19.3008	1.4	Vredu
10	-0.7	-1.1	19.3005	1.4	Vredu
11	-0.7	-0.8	19.3002	1.4	Vredu
12	-0.7	-0.6	19.2999	1.4	Vredu
13	-0.8	-0.3	19.2995	1.4	Vredu
14	-0.8	-0.0	19.2992	1.4	Vredu
15	-0.8	0.2	19.2989	1.4	Vredu
16	-0.9	0.5	19.2986	1.4	Vredu
17	-1.6	-0.3	19.2986	1.3	Vredu
18	-1.9	-0.4	19.2985	1.3	Vredu
19	-2.2	-0.6	19.2984	1.3	Vredu
20	-2.4	-0.7	19.2983	1.3	Vredu
21	-2.7	-0.9	19.2982	1.3	Vredu
22	-2.9	-1.0	19.2981	1.3	Vredu
23	-3.2	-1.2	19.2980	1.3	Vredu
24	-3.5	-1.4	19.2979	1.3	Vredu
25	1.8	-2.9	19.3048	1.3	Vredu
26	2.0	-2.8	19.3048	1.3	Vredu
27	2.2	-2.7	19.3048	1.3	Vredu
28	2.4	-2.5	19.3049	1.3	Vredu
29	2.5	-2.4	19.3049	1.3	Vredu
30	2.7	-2.2	19.3050	1.3	Vredu
31	2.9	-2.1	19.3050	1.3	Vredu
32	3.1	-2.0	19.3050	1.3	Vredu
33	1.4	-0.6	19.3021	1.4	Vredu
34	1.3	-0.3	19.3017	1.4	Vredu
35	1.2	-0.0	19.3013	1.4	Vredu
36	1.1	0.3	19.3009	1.4	Vredu
37	1.0	0.6	19.3004	1.4	Vredu
38	0.9	0.9	19.3000	1.4	Vredu
39	0.8	1.2	19.2996	1.4	Vredu
40	0.7	1.5	19.2992	1.4	Vredu
41	0.1	1.4	19.2987	1.5	Vredu
42	-0.3	1.3	19.2984	1.5	Vredu
43	-0.7	1.3	19.2981	1.5	Vredu
44	-1.0	1.2	19.2977	1.5	Vredu
45	-1.4	1.2	19.2974	1.5	Vredu
46	-1.8	1.1	19.2971	1.5	Vredu
47	-2.1	1.1	19.2968	1.5	Vredu

Največje izmerjeno odstopanje razpona: 5.0 mm (Dovoljeno: 10 mm)

Najmanjše izmerjeno odstopanje razpona: 0.0 mm

Povprečno odstopanje razpona: 2.1 mm

Povprečna natančnost razpona: 1.4 mm

 IZRAČUN VIŠINSKE RAZLIKE TIRNIC ŽERJAVNE PROGE

MAGISTRSKO DELO

Kontrolne meritve žerjavne proge s terestričnim laserskim skeniranjem

Avtor: Jan Možina

Datum in čas: 5. MAREC 2016 00:45:38.1

Vhodni parameter:

- Projektirani razpon žerjavne proge: 19.3000 m

- Širina glave tirnice: 0.1000 m

VERTIKALNI POTEK ŽERJAVNE PROGE

Profil	Odmik južne tirnice [mm]	Odmik severne tirnice [mm]	Višinska razlika [mm]	Natančnost višinske razlike [mm]	Kontrola višinske razlike
1	-0.8	-1.6	0.8	1.8	Vredu
2	-1.8	-1.4	-0.3	1.8	Vredu
3	-2.7	-1.3	-1.4	1.8	Vredu
4	-3.7	-1.2	-2.6	1.8	Vredu
5	-4.7	-1.0	-3.7	1.8	Vredu
6	-5.7	-0.9	-4.8	1.8	Vredu
7	-6.7	-0.7	-5.9	1.8	Vredu
8	-7.7	-0.6	-7.1	1.8	Vredu
9	-2.6	0.7	-3.2	1.1	Vredu
10	-1.7	1.0	-2.7	1.1	Vredu
11	-0.8	1.3	-2.1	1.1	Vredu
12	0.0	1.6	-1.6	1.1	Vredu
13	0.9	1.9	-1.0	1.1	Vredu
14	1.7	2.2	-0.5	1.1	Vredu
15	2.6	2.6	0.0	1.1	Vredu
16	3.5	2.9	0.6	1.1	Vredu
17	0.9	-0.9	1.8	1.4	Vredu
18	0.0	-1.6	1.6	1.4	Vredu
19	-0.9	-2.3	1.3	1.4	Vredu
20	-1.9	-3.0	1.1	1.4	Vredu
21	-2.8	-3.7	0.9	1.4	Vredu
22	-3.8	-4.4	0.6	1.4	Vredu
23	-4.7	-5.1	0.4	1.4	Vredu
24	-5.6	-5.8	0.1	1.4	Vredu
25	-1.5	-5.2	3.8	1.4	Vredu
26	-1.2	-5.4	4.2	1.4	Vredu
27	-0.9	-5.5	4.6	1.4	Vredu
28	-0.6	-5.6	5.0	1.4	Vredu
29	-0.4	-5.7	5.4	1.4	Vredu
30	-0.1	-5.9	5.8	1.4	Vredu
31	0.2	-6.0	6.2	1.4	Vredu
32	0.5	-6.1	6.6	1.4	Vredu
33	2.8	-5.0	7.8	1.6	Vredu
34	3.4	-4.1	7.5	1.6	Vredu
35	4.0	-3.2	7.2	1.6	Vredu
36	4.5	-2.3	6.8	1.6	Vredu
37	5.1	-1.4	6.5	1.6	Vredu
38	5.7	-0.5	6.2	1.6	Vredu
39	6.2	0.3	5.9	1.6	Vredu
40	6.8	1.2	5.6	1.6	Vredu
41	4.8	2.6	2.2	1.7	Vredu
42	5.8	3.7	2.0	1.7	Vredu
43	6.8	4.8	1.9	1.7	Vredu
44	7.8	5.9	1.8	1.7	Vredu

45		8.8	7.1	1.7	1.7	Vredu
46		9.8	8.2	1.6	1.7	Vredu
47		10.8	9.3	1.5	1.7	Vredu

Največja izmerjena višinska razlika: 7.8 mm (Dovoljeno: 32.2 mm)

Najmanjša izmerjena višinska razlika: 0.0 mm

Povprečna višinska razlika: 3.3 mm

Povprečna natančnost višinske razlike: 1.5 mm

H.4: Dolžina segmenta je 12 m

```
*****
                          IZRAČUN RAZPONA TIRNICE ŽERJAVNE PROGE
*****
MAGISTRSKO DELO
Kontrolne meritve žerjavne proge s terestričnim laserskim skeniranjem
Avtor: Jan Možina
Datum in čas: 5. MAREC 2016 00:50:30.4
```

Vhodni parameter:

- Projektirani razpon žerjavne proge: 19.3000 m

- Širina glave tirnice: 0.1000 m

HORIZONTALNI POTEK ŽERJAVNE PROGE

Profil		Odmik južne tirnice [mm]	Odmik severne tirnice [mm]	Razpon [m]	Natančnost razpona [mm]	Kontrola razpona
1		-0.8	2.8	19.2964	1.6	Vredu
2		-0.7	2.4	19.2969	1.6	Vredu
3		-0.6	2.0	19.2974	1.6	Vredu
4		-0.5	1.6	19.2980	1.6	Vredu
5		-0.4	1.1	19.2985	1.6	Vredu
6		-0.3	0.7	19.2990	1.6	Vredu
7		-0.2	0.3	19.2995	1.6	Vredu
8		-0.1	-0.1	19.3000	1.6	Vredu
9		0.0	-0.5	19.3005	1.6	Vredu
10		0.2	-0.9	19.3011	1.6	Vredu
11		0.3	-1.3	19.3016	1.6	Vredu
12		0.4	-1.7	19.3021	1.6	Vredu
13		-1.4	-0.4	19.2990	1.3	Vredu
14		-1.5	-0.5	19.2990	1.3	Vredu
15		-1.7	-0.6	19.2989	1.3	Vredu
16		-1.9	-0.7	19.2988	1.3	Vredu
17		-2.1	-0.8	19.2988	1.3	Vredu
18		-2.2	-0.9	19.2987	1.3	Vredu
19		-2.4	-1.0	19.2986	1.3	Vredu
20		-2.6	-1.1	19.2985	1.3	Vredu
21		-2.7	-1.2	19.2985	1.3	Vredu
22		-2.9	-1.3	19.2984	1.3	Vredu
23		-3.1	-1.4	19.2983	1.3	Vredu
24		-3.2	-1.5	19.2983	1.3	Vredu
25		1.8	-2.7	19.3045	1.3	Vredu
26		1.9	-2.5	19.3043	1.3	Vredu
27		2.0	-2.2	19.3042	1.3	Vredu
28		2.1	-2.0	19.3041	1.3	Vredu
29		2.2	-1.8	19.3039	1.3	Vredu
30		2.3	-1.5	19.3038	1.3	Vredu
31		2.4	-1.3	19.3036	1.3	Vredu

32		2.5	-1.0	19.3035	1.3	Vredu
33		2.6	-0.8	19.3034	1.3	Vredu
34		2.7	-0.6	19.3032	1.3	Vredu
35		2.8	-0.3	19.3031	1.3	Vredu
36		2.9	-0.1	19.3029	1.3	Vredu
37		0.1	0.6	19.2995	1.6	Vredu
38		-0.1	0.9	19.2990	1.6	Vredu
39		-0.3	1.2	19.2985	1.6	Vredu
40		-0.5	1.4	19.2981	1.6	Vredu
41		-0.7	1.7	19.2976	1.6	Vredu
42		-0.9	2.0	19.2971	1.6	Vredu
43		-1.1	2.3	19.2966	1.6	Vredu
44		-1.3	2.6	19.2961	1.6	Vredu
45		-1.5	2.9	19.2956	1.6	Vredu
46		-1.7	3.2	19.2952	1.6	Vredu
47		-1.9	3.4	19.2947	1.6	Vredu

Največje izmerjeno odstopanje razpona: 5.3 mm (Dovoljeno: 10 mm)

Najmanjše izmerjeno odstopanje razpona: 0.0 mm

Povprečno odstopanje razpona: 2.4 mm

Povprečna natančnost razpona: 1.5 mm

 IZRAČUN VIŠINSKE RAZLIKE TIRNIC ŽERJAVNE PROGE

MAGISTRSKO DELO

Kontrolne meritve žerjavne proge s terestričnim laserskim skeniranjem

Avtor: Jan Možina

Datum in čas: 5. MAREC 2016 00:50:30.4

Vhodni parameter:

- Projektirani razpon žerjavne proge: 19.3000 m

- Širina glave tirnice: 0.1000 m

 VERTIKALNI POTEK ŽERJAVNE PROGE

Profil	Odmik južne tirnice [mm]	Odmik severne tirnice [mm]	Višinska razlika [mm]	Natančnost višinske razlike [mm]	Kontrola višinske razlike	
1		-1.6	-1.2	-0.4	2.1	Vredu
2		-2.2	-0.8	-1.3	2.1	Vredu
3		-2.7	-0.5	-2.2	2.1	Vredu
4		-3.3	-0.2	-3.1	2.1	Vredu
5		-3.9	0.1	-4.0	2.1	Vredu
6		-4.5	0.4	-4.9	2.1	Vredu
7		-5.1	0.7	-5.8	2.1	Vredu
8		-5.7	1.0	-6.7	2.1	Vredu
9		-6.3	1.4	-7.6	2.1	Vredu
10		-6.9	1.7	-8.5	2.1	Vredu
11		-7.5	2.0	-9.4	2.1	Vredu
12		-8.0	2.3	-10.3	2.1	Vredu
13		0.6	0.2	0.3	1.8	Vredu
14		0.5	-0.2	0.7	1.8	Vredu
15		0.4	-0.6	1.0	1.8	Vredu
16		0.4	-1.0	1.4	1.8	Vredu
17		0.3	-1.4	1.8	1.8	Vredu
18		0.3	-1.9	2.1	1.8	Vredu
19		0.2	-2.3	2.5	1.8	Vredu
20		0.2	-2.7	2.9	1.8	Vredu
21		0.1	-3.1	3.2	1.8	Vredu
22		0.1	-3.5	3.6	1.8	Vredu

23		0.0	-3.9	3.9	1.8	Vredu
24		-0.1	-4.4	4.3	1.8	Vredu
25		-1.3	-5.6	4.2	1.6	Vredu
26		-0.8	-5.6	4.8	1.6	Vredu
27		-0.2	-5.6	5.4	1.6	Vredu
28		0.3	-5.6	5.9	1.6	Vredu
29		0.8	-5.6	6.5	1.6	Vredu
30		1.4	-5.7	7.1	1.6	Vredu
31		1.9	-5.7	7.6	1.6	Vredu
32		2.5	-5.7	8.2	1.6	Vredu
33		3.0	-5.7	8.7	1.6	Vredu
34		3.6	-5.7	9.3	1.6	Vredu
35		4.1	-5.7	9.9	1.6	Vredu
36		4.7	-5.8	10.4	1.6	Vredu
37		3.9	-1.1	5.0	1.7	Vredu
38		4.3	0.0	4.2	1.7	Vredu
39		4.7	1.2	3.5	1.7	Vredu
40		5.1	2.3	2.7	1.7	Vredu
41		5.5	3.5	1.9	1.7	Vredu
42		5.9	4.7	1.2	1.7	Vredu
43		6.3	5.8	0.4	1.7	Vredu
44		6.6	7.0	-0.4	1.7	Vredu
45		7.0	8.2	-1.1	1.7	Vredu
46		7.4	9.3	-1.9	1.7	Vredu
47		7.8	10.5	-2.7	1.7	Vredu

Največja izmerjena višinska razlika: 10.4 mm (Dovoljeno: 32.2 mm)
 Najmanjša izmerjena višinska razlika: 0.3 mm
 Povprečna višinska razlika: 4.4 mm
 Povprečna natančnost višinske razlike: 1.8 mm

H.5: Dolžina segmenta je 16 m

 IZRAČUN RAZPONA TIRNIC ŽERJAVNE PROGE

MAGISTRSKO DELO
 Kontrolne meritve žerjavne proge s terestričnim laserskim skeniranjem
 Avtor: Jan Možina
 Datum in čas: 5. MAREC 2016 00:54:30.3

Vhodni parameter:
 - Projektirani razpon žerjavne proge: 19.3000 m
 - Širina glave tirnice: 0.1000 m

HORIZONTALNI POTEK ŽERJAVNE PROGE

Profil	Odmik južne tirnice [mm]	Odmik severne tirnice [mm]	Razpon [m]	Natančnost razpona [mm]	Kontrola razpona	
1		-0.9	2.3	19.2968	1.7	Vredu
2		-0.8	2.0	19.2971	1.7	Vredu
3		-0.8	1.8	19.2974	1.7	Vredu
4		-0.8	1.5	19.2978	1.7	Vredu
5		-0.7	1.2	19.2981	1.7	Vredu
6		-0.7	0.9	19.2984	1.7	Vredu
7		-0.6	0.7	19.2987	1.7	Vredu
8		-0.6	0.4	19.2990	1.7	Vredu
9		-0.5	0.1	19.2994	1.7	Vredu

10		-0.5	-0.2	19.2997	1.7	Vredu
11		-0.4	-0.4	19.3000	1.7	Vredu
12		-0.4	-0.7	19.3003	1.7	Vredu
13		-0.4	-1.0	19.3006	1.7	Vredu
14		-0.3	-1.3	19.3009	1.7	Vredu
15		-0.3	-1.5	19.3013	1.7	Vredu
16		-0.2	-1.8	19.3016	1.7	Vredu
17		-0.6	-1.0	19.3004	1.6	Vredu
18		-0.4	-1.3	19.3008	1.6	Vredu
19		-0.3	-1.5	19.3013	1.6	Vredu
20		-0.1	-1.8	19.3017	1.6	Vredu
21		0.1	-2.1	19.3022	1.6	Vredu
22		0.3	-2.3	19.3026	1.6	Vredu
23		0.4	-2.6	19.3031	1.6	Vredu
24		0.6	-2.9	19.3035	1.6	Vredu
25		0.8	-3.2	19.3040	1.6	Vredu
26		1.0	-3.4	19.3044	1.6	Vredu
27		1.2	-3.7	19.3049	1.6	Vredu
28		1.3	-4.0	19.3053	1.6	Vredu
29		1.5	-4.2	19.3058	1.6	Vredu
30		1.7	-4.5	19.3062	1.6	Vredu
31		1.9	-4.8	19.3067	1.6	Vredu
32		2.1	-5.1	19.3071	1.6	Vredu
33		0.6	-0.6	19.3012	1.5	Vredu
34		0.4	-0.3	19.3007	1.5	Vredu
35		0.3	-0.0	19.3003	1.5	Vredu
36		0.1	0.3	19.2998	1.5	Vredu
37		-0.0	0.6	19.2994	1.5	Vredu
38		-0.2	0.8	19.2990	1.5	Vredu
39		-0.3	1.1	19.2985	1.5	Vredu
40		-0.5	1.4	19.2981	1.5	Vredu
41		-0.6	1.7	19.2976	1.5	Vredu
42		-0.8	2.0	19.2972	1.5	Vredu
43		-0.9	2.3	19.2968	1.5	Vredu
44		-1.1	2.6	19.2963	1.5	Vredu
45		-1.2	2.9	19.2959	1.5	Vredu
46		-1.4	3.2	19.2955	1.5	Vredu
47		-1.5	3.4	19.2950	1.5	Vredu

Največje izmerjeno odstopanje razpona: 7.1 mm (Dovoljeno: 10 mm)
 Najmanjše izmerjeno odstopanje razpona: 0.0 mm
 Povprečno odstopanje razpona: 2.5 mm
 Povprečna natančnost razpona: 1.6 mm

IZRAČUN VIŠINSKE RAZLIKE TIRNIC ŽERJAVNE PROGE

MAGISTRSKO DELO

Kontrolne meritve žerjavne proge s terestričnim laserskim skeniranjem

Avtor: Jan Možina

Datum in čas: 5. MAREC 2016 00:54:30.3

Vhodni parameter:

- Projektirani razpon žerjavne proge: 19.3000 m

- Širina glave tirnice: 0.1000 m

VERTIKALNI POTEK ŽERJAVNE PROGE

Profil	Odmik	Odmik	Višinska	Natančnost	Kontrola višinske
južne tirnice		severne tirnice	razlika	višinske razlike	razlike
	[mm]	[mm]	[mm]	[mm]	

1		-0.3	-1.1	0.8	2.1	Vredu
2		-0.3	-0.7	0.4	2.1	Vredu
3		-0.4	-0.3	-0.1	2.1	Vredu
4		-0.5	-0.0	-0.5	2.1	Vredu
5		-0.5	0.4	-0.9	2.1	Vredu
6		-0.6	0.8	-1.4	2.1	Vredu
7		-0.7	1.1	-1.8	2.1	Vredu
8		-0.7	1.5	-2.2	2.1	Vredu
9		-0.8	1.9	-2.6	2.1	Vredu
10		-0.9	2.2	-3.1	2.1	Vredu
11		-0.9	2.6	-3.5	2.1	Vredu
12		-1.0	3.0	-3.9	2.1	Vredu
13		-1.0	3.3	-4.4	2.1	Vredu
14		-1.1	3.7	-4.8	2.1	Vredu
15		-1.2	4.0	-5.2	2.1	Vredu
16		-1.2	4.4	-5.7	2.1	Vredu
17		0.5	-2.0	2.5	1.7	Vredu
18		-0.1	-2.5	2.4	1.7	Vredu
19		-0.7	-3.1	2.4	1.7	Vredu
20		-1.2	-3.6	2.4	1.7	Vredu
21		-1.8	-4.2	2.4	1.7	Vredu
22		-2.4	-4.7	2.3	1.7	Vredu
23		-2.9	-5.2	2.3	1.7	Vredu
24		-3.5	-5.8	2.3	1.7	Vredu
25		-4.0	-6.3	2.2	1.7	Vredu
26		-4.6	-6.8	2.2	1.7	Vredu
27		-5.2	-7.4	2.2	1.7	Vredu
28		-5.7	-7.9	2.2	1.7	Vredu
29		-6.3	-8.4	2.1	1.7	Vredu
30		-6.9	-9.0	2.1	1.7	Vredu
31		-7.4	-9.5	2.1	1.7	Vredu
32		-8.0	-10.0	2.0	1.7	Vredu
33		3.0	-3.4	6.3	1.8	Vredu
34		3.3	-2.3	5.6	1.8	Vredu
35		3.7	-1.3	5.0	1.8	Vredu
36		4.1	-0.2	4.3	1.8	Vredu
37		4.4	0.8	3.6	1.8	Vredu
38		4.8	1.9	3.0	1.8	Vredu
39		5.2	2.9	2.3	1.8	Vredu
40		5.5	3.9	1.6	1.8	Vredu
41		5.9	5.0	0.9	1.8	Vredu
42		6.3	6.0	0.3	1.8	Vredu
43		6.7	7.1	-0.4	1.8	Vredu
44		7.0	8.1	-1.1	1.8	Vredu
45		7.4	9.1	-1.7	1.8	Vredu
46		7.8	10.2	-2.4	1.8	Vredu
47		8.1	11.2	-3.1	1.8	Vredu

Največja izmerjena višinska razlika: 6.3 mm (Dovoljeno: 32.2 mm)
 Najmanjša izmerjena višinska razlika: 0.1 mm
 Povprečna višinska razlika: 2.5 mm
 Povprečna natančnost višinske razlike: 1.9 mm

H.6: Žerjavna proga ni razdeljena na segmente

 IZRAČUN RAZPONA TIRNIC ŽERJAVNE PROGE

 MAGISTRSKO DELO
 Kontrolne meritve žerjavne proge s terestričnim laserskim skeniranjem
 Avtor: Jan Možina

Datum in čas: 5. MAREC 2016 00:57:52.7

Vhodni parameter:

- Projektirani razpon žerjavne proge: 19.3000 m

- Širina glave tirnice: 0.1000 m

HORIZONTALNI POTEK ŽERJAVNE PROGE

Profil	Odmik južne tirnice [mm]	Odmik severne tirnice [mm]	Razpon [m]	Natančnost razpona [mm]	Kontrola razpona
1	-1.2	1.1	19.2977	2.0	Vredu
2	-1.2	1.0	19.2978	2.0	Vredu
3	-1.1	0.8	19.2980	2.0	Vredu
4	-1.1	0.7	19.2982	2.0	Vredu
5	-1.1	0.6	19.2983	2.0	Vredu
6	-1.0	0.5	19.2985	2.0	Vredu
7	-1.0	0.3	19.2987	2.0	Vredu
8	-1.0	0.2	19.2988	2.0	Vredu
9	-0.9	0.1	19.2990	2.0	Vredu
10	-0.9	-0.1	19.2992	2.0	Vredu
11	-0.8	-0.2	19.2993	2.0	Vredu
12	-0.8	-0.3	19.2995	2.0	Vredu
13	-0.8	-0.5	19.2997	2.0	Vredu
14	-0.7	-0.6	19.2998	2.0	Vredu
15	-0.7	-0.7	19.3000	2.0	Vredu
16	-0.7	-0.8	19.3002	2.0	Vredu
17	-0.6	-1.0	19.3003	2.0	Vredu
18	-0.6	-1.1	19.3005	2.0	Vredu
19	-0.6	-1.2	19.3007	2.0	Vredu
20	-0.5	-1.4	19.3008	2.0	Vredu
21	-0.5	-1.5	19.3010	2.0	Vredu
22	-0.4	-1.6	19.3012	2.0	Vredu
23	-0.4	-1.8	19.3013	2.0	Vredu
24	-0.4	-1.9	19.3015	2.0	Vredu
25	-0.3	-2.0	19.3017	2.0	Vredu
26	-0.3	-2.1	19.3018	2.0	Vredu
27	-0.3	-2.3	19.3020	2.0	Vredu
28	-0.2	-2.4	19.3022	2.0	Vredu
29	-0.2	-2.5	19.3023	2.0	Vredu
30	-0.2	-2.7	19.3025	2.0	Vredu
31	-0.1	-2.8	19.3027	2.0	Vredu
32	-0.1	-2.9	19.3028	2.0	Vredu
33	-0.1	-3.1	19.3030	2.0	Vredu
34	-0.0	-3.2	19.3032	2.0	Vredu
35	0.0	-3.3	19.3033	2.0	Vredu
36	0.1	-3.4	19.3035	2.0	Vredu
37	0.1	-3.6	19.3037	2.0	Vredu
38	0.1	-3.7	19.3038	2.0	Vredu
39	0.2	-3.8	19.3040	2.0	Vredu
40	0.2	-4.0	19.3042	2.0	Vredu
41	0.2	-4.1	19.3043	2.0	Vredu
42	0.3	-4.2	19.3045	2.0	Vredu
43	0.3	-4.4	19.3047	2.0	Vredu
44	0.3	-4.5	19.3048	2.0	Vredu
45	0.4	-4.6	19.3050	2.0	Vredu
46	0.4	-4.7	19.3052	2.0	Vredu
47	0.5	-4.9	19.3053	2.0	Vredu

Največje izmerjeno odstopanje razpona: 5.3 mm (Dovoljeno: 10 mm)

Najmanjše izmerjeno odstopanje razpona: 0.0 mm

Povprečno odstopanje razpona: 2.2 mm

Povprečna natančnost razpona: 2.0 mm

 IZRAČUN VIŠINSKE RAZLIKE TIRNIC ŽERJAVNE PROGE

MAGISTRSKO DELO

Kontrolne meritve žerjavne proge s terestričnim laserskim skeniranjem

Avtor: Jan Možina

Datum in čas: 5. MAREC 2016 00:57:52.7

Vhodni parameter:

- Projektirani razpon žerjavne proge: 19.3000 m

- Širina glave tirnice: 0.1000 m

VERTIKALNI POTEK ŽERJAVNE PROGE

Profil	Odmik južne tirnice [mm]	Odmik severne tirnice [mm]	Višinska razlika [mm]	Natančnost višinske razlike [mm]	Kontrola višinske razlike
1	-3.2	-3.0	-0.2	3.4	Vredu
2	-3.1	-2.9	-0.2	3.4	Vredu
3	-2.9	-2.7	-0.2	3.4	Vredu
4	-2.8	-2.6	-0.2	3.4	Vredu
5	-2.7	-2.4	-0.3	3.4	Vredu
6	-2.6	-2.3	-0.3	3.4	Vredu
7	-2.4	-2.1	-0.3	3.4	Vredu
8	-2.3	-2.0	-0.3	3.4	Vredu
9	-2.2	-1.9	-0.3	3.4	Vredu
10	-2.1	-1.7	-0.3	3.4	Vredu
11	-1.9	-1.6	-0.4	3.4	Vredu
12	-1.8	-1.4	-0.4	3.4	Vredu
13	-1.7	-1.3	-0.4	3.4	Vredu
14	-1.6	-1.1	-0.4	3.4	Vredu
15	-1.4	-1.0	-0.4	3.4	Vredu
16	-1.3	-0.9	-0.5	3.4	Vredu
17	-1.2	-0.7	-0.5	3.4	Vredu
18	-1.1	-0.6	-0.5	3.4	Vredu
19	-0.9	-0.4	-0.5	3.4	Vredu
20	-0.8	-0.3	-0.5	3.4	Vredu
21	-0.7	-0.2	-0.5	3.4	Vredu
22	-0.6	0.0	-0.6	3.4	Vredu
23	-0.4	0.1	-0.6	3.4	Vredu
24	-0.3	0.3	-0.6	3.4	Vredu
25	-0.2	0.4	-0.6	3.4	Vredu
26	-0.1	0.6	-0.6	3.4	Vredu
27	0.1	0.7	-0.6	3.4	Vredu
28	0.2	0.8	-0.7	3.4	Vredu
29	0.3	1.0	-0.7	3.4	Vredu
30	0.4	1.1	-0.7	3.4	Vredu
31	0.5	1.3	-0.7	3.4	Vredu
32	0.7	1.4	-0.7	3.4	Vredu
33	0.8	1.6	-0.8	3.4	Vredu
34	0.9	1.7	-0.8	3.4	Vredu
35	1.0	1.8	-0.8	3.4	Vredu
36	1.2	2.0	-0.8	3.4	Vredu
37	1.3	2.1	-0.8	3.4	Vredu
38	1.4	2.3	-0.8	3.4	Vredu
39	1.5	2.4	-0.9	3.4	Vredu
40	1.7	2.6	-0.9	3.4	Vredu
41	1.8	2.7	-0.9	3.4	Vredu
42	1.9	2.8	-0.9	3.4	Vredu
43	2.0	3.0	-0.9	3.4	Vredu

44		2.2	3.1	-1.0	3.4	Vredu
45		2.3	3.3	-1.0	3.4	Vredu
46		2.4	3.4	-1.0	3.4	Vredu
47		2.5	3.5	-1.0	3.4	Vredu

Največja izmerjena višinska razlika: 1.0 mm (Dovoljeno: 32.2 mm)

Najmanjša izmerjena višinska razlika: 0.2 mm

Povprečna višinska razlika: 0.6 mm

Povprečna natančnost višinske razlike: 3.4 mm

Ta stran je namenoma prazna.

Priloga I: PARAMETRI GEOMETRIJE TIRNIC ŽERJAVNE PROGE V ODVISNOSTI OD GOSTOTE TOČK TIRNIC

I.1: Odstranitev 50 % točk

IZRAČUN RAZPONA TIRNIC ŽERJAVNE PROGE

MAGISTRSKO DELO

Kontrolne meritve žerjavne proge s terestričnim laserskim skeniranjem

Avtor: Jan Možina

Datum in čas: 5. MAREC 2016 01:07:34.2

Vhodni parameter:

- Projektirani razpon žerjavne proge: 19.3000 m

- Širina glave tirnice: 0.1000 m

HORIZONTALNI POTEK ŽERJAVNE PROGE

Profil	Odmik leve tirnice [mm]	Odmik desne tirnice [mm]	Razpon [m]	Natančnost razpona [mm]	Kontrola razpona
1	-0.7	6.6	19.2927	1.7	Vredu
2	-0.6	6.0	19.2934	1.6	Vredu
3	0.5	5.2	19.2953	1.6	Vredu
4	0.1	3.5	19.2967	1.4	Vredu
5	-0.0	3.9	19.2960	1.3	Vredu
6	-0.6	5.2	19.2943	1.3	Vredu
7	-0.4	1.9	19.2978	1.3	Vredu
8	-0.1	-1.0	19.3009	1.2	Vredu
9	-0.9	-1.0	19.3001	1.3	Vredu
10	1.5	-2.9	19.3043	1.2	Vredu
11	-0.9	-2.4	19.3015	1.2	Vredu
12	-0.4	-0.3	19.2999	1.2	Vredu
13	-0.5	-1.0	19.3005	1.1	Vredu
14	-0.8	-0.2	19.2995	1.0	Vredu
15	-1.1	-0.2	19.2991	1.0	Vredu
16	-1.9	-1.0	19.2991	1.0	Vredu
17	-2.0	0.4	19.2976	1.1	Vredu
18	-0.8	0.6	19.2986	1.1	Vredu
19	-1.6	0.3	19.2981	0.9	Vredu
20	-1.7	-0.9	19.2992	1.0	Vredu
21	-2.3	-2.0	19.2997	1.1	Vredu
22	-2.5	-2.2	19.2996	1.0	Vredu
23	-2.8	-0.7	19.2978	0.9	Vredu
24	-0.4	-1.7	19.3013	1.3	Vredu
25	2.2	-4.1	19.3063	1.0	Vredu
26	1.5	-3.0	19.3045	1.1	Vredu
27	2.5	-1.7	19.3042	1.1	Vredu
28	2.8	-4.1	19.3069	1.1	Vredu
29	1.3	-3.6	19.3048	1.2	Vredu
30	1.6	-3.2	19.3049	1.0	Vredu
31	2.4	-1.7	19.3041	1.1	Vredu
32	2.1	-1.7	19.3038	1.0	Vredu
33	2.4	-1.2	19.3036	1.1	Vredu
34	1.7	0.2	19.3016	1.2	Vredu
35	2.0	-1.0	19.3029	1.3	Vredu
36	1.8	-1.1	19.3029	1.4	Vredu

37		1.8	-1.9	19.3037	1.5	Vredu
38		1.4	0.4	19.3009	1.3	Vredu
39		-0.1	0.8	19.2991	1.3	Vredu
40		0.7	1.4	19.2993	1.4	Vredu
41		1.1	1.0	19.3001	1.5	Vredu
42		0.8	2.8	19.2980	1.4	Vredu
43		1.8	2.3	19.2995	1.3	Vredu
44		1.7	2.1	19.2995	1.3	Vredu
45		-0.4	1.8	19.2977	1.2	Vredu
46		-2.0	1.6	19.2964	1.2	Vredu
47		-1.8	-2.7	19.3009	1.2	Vredu

Največje izmerjeno odstopanje razpona: 7.3 mm (Dovoljeno: 10 mm)

Najmanjše izmerjeno odstopanje razpona: 0.1 mm

Povprečno odstopanje razpona: 2.6 mm

Povprečna natančnost razpona: 1.2 mm

IZRAČUN VIŠINSKE RAZLIKE TIRNIC ŽERJAVNE PROGE

MAGISTRSKO DELO

Kontrolne meritve žerjavne proge s terestričnim laserskim skeniranjem

Avtor: Jan Možina

Datum in čas: 5. MAREC 2016 01:07:34.2

Vhodni parameter:

- Projektirani razpon žerjavne proge: 19.3000 m

- Širina glave tirnice: 0.1000 m

VERTIKALNI POTEK ŽERJAVNE PROGE

Profil	Odmik levo tirnice [mm]	Odmik desno tirnice [mm]	Višinska razlika [mm]	Natančnost višinske razlike [mm]	Kontrola višinske razlike	
1		1.0	-0.6	1.6	1.6	Vredu
2		1.1	-0.4	1.5	1.6	Vredu
3		0.6	-1.3	1.9	1.5	Vredu
4		0.6	-2.5	3.2	1.2	Vredu
5		-1.2	-2.7	1.4	1.1	Vredu
6		-2.9	-1.3	-1.6	1.3	Vredu
7		-4.1	0.1	-4.3	1.2	Vredu
8		-3.6	0.2	-3.9	1.3	Vredu
9		-3.6	0.2	-3.8	1.1	Vredu
10		-3.0	0.5	-3.5	0.9	Vredu
11		-1.9	1.1	-3.0	0.9	Vredu
12		-1.5	1.5	-3.0	0.9	Vredu
13		-1.5	2.2	-3.7	0.9	Vredu
14		-0.8	2.2	-3.0	0.8	Vredu
15		0.4	2.2	-1.7	1.0	Vredu
16		1.9	1.7	0.2	0.9	Vredu
17		3.3	1.8	1.5	0.9	Vredu
18		4.1	0.9	3.2	0.9	Vredu
19		2.4	-0.2	2.6	0.9	Vredu
20		0.2	-1.1	1.4	0.9	Vredu
21		-1.5	-2.0	0.6	0.9	Vredu
22		-1.4	-2.5	1.1	1.1	Vredu
23		-1.2	-2.7	1.6	1.1	Vredu
24		-1.6	-2.1	0.5	1.3	Vredu
25		-1.6	-3.5	1.9	1.1	Vredu
26		-1.8	-5.0	3.2	1.4	Vredu
27		-1.5	-5.3	3.8	1.3	Vredu

28		-0.9	-5.3	4.4	1.0	Vredu
29		-1.1	-5.5	4.4	1.0	Vredu
30		0.1	-5.5	5.6	1.0	Vredu
31		0.4	-4.7	5.1	1.2	Vredu
32		0.8	-4.3	5.0	1.3	Vredu
33		1.1	-5.4	6.5	1.4	Vredu
34		2.7	-4.7	7.4	1.3	Vredu
35		2.9	-4.0	6.8	1.4	Vredu
36		3.9	-4.6	8.5	1.6	Vredu
37		5.0	-4.3	9.3	1.5	Vredu
38		5.0	-3.7	8.7	1.5	Vredu
39		4.4	-2.1	6.5	1.6	Vredu
40		4.7	-1.2	5.9	1.5	Vredu
41		4.1	-0.1	4.2	1.4	Vredu
42		3.3	1.1	2.2	1.5	Vredu
43		4.4	3.2	1.3	1.5	Vredu
44		5.2	4.2	1.0	1.4	Vredu
45		6.3	4.7	1.6	1.3	Vredu
46		7.6	5.9	1.7	1.3	Vredu
47		9.3	4.1	5.3	1.7	Vredu

Največja izmerjena višinska razlika: 9.3 mm (Dovoljeno: 32.2 mm)
 Najmanjša izmerjena višinska razlika: 0.2 mm
 Povprečna višinska razlika: 3.5 mm
 Povprečna natančnost višinske razlike: 1.2 mm

I.2: Odstranitev 70 % točk

 IZRAČUN RAZPONA TIRNIC ŽERJAVNE PROGE

 MAGISTRSKO DELO
 Kontrolne meritve žerjavne proge s terestričnim laserskim skeniranjem
 Avtor: Jan Možina
 Datum in čas: 5. MAREC 2016 01:11:02.8

Vhodni parameter:
 - Projektirani razpon žerjavne proge: 19.3000 m
 - Širina glave tirnice: 0.1000 m

HORIZONTALNI POTEK ŽERJAVNE PROGE

Profil	Odmik leve tirnice [mm]	Odmik desne tirnice [mm]	Razpon [m]	Natančnost razpona [mm]	Kontrola razpona	
1		-0.7	6.1	19.2932	1.6	Vredu
2		-0.7	6.0	19.2933	1.6	Vredu
3		0.6	5.1	19.2955	1.5	Vredu
4		0.4	3.6	19.2968	1.4	Vredu
5		-0.0	3.8	19.2961	1.3	Vredu
6		-0.3	5.1	19.2945	1.3	Vredu
7		-0.3	2.2	19.2975	1.4	Vredu
8		-0.0	-0.8	19.3007	1.2	Vredu
9		-0.7	-1.1	19.3004	1.3	Vredu
10		1.5	-2.8	19.3043	1.2	Vredu
11		-0.6	-2.4	19.3018	1.2	Vredu
12		-0.1	-0.0	19.2999	1.2	Vredu
13		-0.3	-1.0	19.3007	1.1	Vredu
14		-0.7	-0.1	19.2994	0.9	Vredu

15		-1.0	-0.3	19.2993	1.0	Vredu
16		-1.7	-0.8	19.2991	1.0	Vredu
17		-1.9	0.3	19.2978	1.1	Vredu
18		-0.7	0.6	19.2988	1.1	Vredu
19		-1.8	0.3	19.2979	0.9	Vredu
20		-1.6	-0.5	19.2989	0.9	Vredu
21		-2.2	-1.6	19.2993	1.0	Vredu
22		-2.6	-1.9	19.2993	1.0	Vredu
23		-2.9	-0.7	19.2978	0.9	Vredu
24		-0.6	-1.1	19.3006	1.4	Vredu
25		2.4	-3.6	19.3060	1.1	Vredu
26		1.6	-2.4	19.3040	1.2	Vredu
27		2.3	-2.2	19.3046	0.9	Vredu
28		3.1	-4.4	19.3075	1.3	Vredu
29		0.7	-4.5	19.3053	1.3	Vredu
30		1.3	-3.8	19.3051	1.0	Vredu
31		2.8	-2.0	19.3047	1.0	Vredu
32		2.3	-2.3	19.3047	1.1	Vredu
33		2.5	-1.7	19.3042	1.0	Vredu
34		1.9	-0.5	19.3024	1.2	Vredu
35		2.1	0.1	19.3021	1.3	Vredu
36		1.4	-0.5	19.3019	1.4	Vredu
37		1.4	-1.3	19.3027	1.4	Vredu
38		1.3	0.0	19.3013	1.3	Vredu
39		0.8	0.5	19.3003	1.5	Vredu
40		1.3	1.3	19.3000	1.4	Vredu
41		1.6	0.5	19.3011	1.2	Vredu
42		-0.4	1.9	19.2978	1.4	Vredu
43		1.7	2.5	19.2992	1.3	Vredu
44		0.8	1.7	19.2991	1.3	Vredu
45		1.1	0.9	19.3001	1.2	Vredu
46		-1.3	1.8	19.2968	1.3	Vredu
47		-0.7	-3.6	19.3029	0.9	Vredu

Največje izmerjeno odstopanje razpona: 7.5 mm (Dovoljeno: 10 mm)

Najmanjše izmerjeno odstopanje razpona: 0.0 mm

Povprečno odstopanje razpona: 2.6 mm

Povprečna natančnost razpona: 1.2 mm

IZRAČUN VIŠINSKE RAZLIKE TIRNIC ŽERJAVNE PROGE

MAGISTRSKO DELO

Kontrolne meritve žerjavne proge s terestričnim laserskim skeniranjem

Avtor: Jan Možina

Datum in čas: 5. MAREC 2016 01:11:02.8

Vhodni parameter:

- Projektirani razpon žerjavne proge: 19.3000 m

- Širina glave tirnice: 0.1000 m

VERTIKALNI POTEK ŽERJAVNE PROGE

Profil	Odmik leve tirnice [mm]	Odmik desne tirnice [mm]	Višinska razlika [mm]	Natančnost višinske razlike [mm]	Kontrola višinske razlike	
1		1.0	-1.3	2.3	1.7	Vredu
2		1.2	-0.7	1.9	1.6	Vredu
3		0.8	-1.2	1.9	1.5	Vredu
4		0.8	-2.5	3.2	1.2	Vredu
5		-1.1	-2.6	1.5	1.1	Vredu

6		-2.8	-1.3	-1.5	1.3	Vredu
7		-4.0	0.2	-4.2	1.3	Vredu
8		-3.6	0.3	-3.9	1.3	Vredu
9		-3.5	0.3	-3.8	1.1	Vredu
10		-2.9	0.5	-3.4	0.9	Vredu
11		-2.0	1.1	-3.1	0.9	Vredu
12		-1.4	1.6	-3.0	0.9	Vredu
13		-1.5	2.3	-3.8	0.9	Vredu
14		-0.8	2.3	-3.1	0.8	Vredu
15		0.5	2.2	-1.7	0.9	Vredu
16		2.0	1.8	0.2	0.9	Vredu
17		3.3	1.8	1.5	0.9	Vredu
18		4.1	1.0	3.1	0.9	Vredu
19		2.3	-0.1	2.4	0.9	Vredu
20		0.4	-1.1	1.5	0.9	Vredu
21		-1.3	-1.9	0.6	0.9	Vredu
22		-1.3	-2.4	1.1	1.1	Vredu
23		-1.0	-2.7	1.6	1.0	Vredu
24		-1.2	-2.0	0.8	1.2	Vredu
25		-1.4	-3.4	2.0	1.1	Vredu
26		-1.6	-5.0	3.4	1.4	Vredu
27		-1.7	-5.3	3.5	1.3	Vredu
28		-0.8	-5.2	4.4	0.9	Vredu
29		-0.9	-5.5	4.7	1.0	Vredu
30		0.2	-5.5	5.7	1.1	Vredu
31		0.5	-4.7	5.2	1.1	Vredu
32		0.6	-4.1	4.7	1.2	Vredu
33		1.1	-5.3	6.4	1.4	Vredu
34		2.8	-4.6	7.4	1.4	Vredu
35		2.2	-4.0	6.2	1.6	Vredu
36		4.3	-4.4	8.7	1.5	Vredu
37		4.6	-4.1	8.8	1.6	Vredu
38		4.7	-3.5	8.2	1.4	Vredu
39		4.2	-1.8	6.1	1.4	Vredu
40		4.4	-1.0	5.4	1.5	Vredu
41		4.0	-0.1	4.1	1.5	Vredu
42		3.3	0.9	2.4	1.6	Vredu
43		4.7	3.2	1.5	1.4	Vredu
44		4.3	4.2	0.1	1.5	Vredu
45		6.9	5.0	1.9	1.3	Vredu
46		8.3	5.8	2.5	1.1	Vredu
47		9.2	5.0	4.2	1.6	Vredu

Največja izmerjena višinska razlika: 8.8 mm (Dovoljeno: 32.2 mm)
Najmanjša izmerjena višinska razlika: 0.1 mm
Povprečna višinska razlika: 3.5 mm
Povprečna natančnost višinske razlike: 1.2 mm

I.3: Odstranitev 90 % točk

IZRAČUN RAZPONA TIRNIC ŽERJAVNE PROGE

MAGISTRSKO DELO
Kontrolne meritve žerjavne proge s terestričnim laserskim skeniranjem
Avtor: Jan Možina
Datum in čas: 5. MAREC 2016 01:13:54.3

Vhodni parameter:
- Projektirani razpon žerjavne proge: 19.3000 m
- Širina glave tirnice: 0.1000 m

HORIZONTALNI POTEK ŽERJAVNE PROGE

Profil	Odmik leve tirnice [mm]	Odmik desne tirnice [mm]	Razpon [m]	Natančnost razpona [mm]	Kontrola razpona
1	-0.7	6.6	19.2927	1.6	Vredu
2	-0.9	6.5	19.2926	1.6	Vredu
3	0.2	5.1	19.2951	1.4	Vredu
4	0.5	3.4	19.2971	1.3	Vredu
5	-0.0	4.0	19.2960	1.3	Vredu
6	-0.3	5.2	19.2945	1.3	Vredu
7	-0.5	1.9	19.2976	1.4	Vredu
8	-0.3	-0.5	19.3003	1.2	Vredu
9	-0.8	-0.9	19.3002	1.2	Vredu
10	1.5	-3.1	19.3045	1.3	Vredu
11	-0.9	-2.1	19.3012	1.2	Vredu
12	-0.3	0.1	19.2997	1.2	Vredu
13	-0.4	-0.8	19.3004	1.1	Vredu
14	-0.6	-0.0	19.2994	1.1	Vredu
15	-1.3	0.4	19.2983	1.1	Vredu
16	-1.8	-0.8	19.2990	1.1	Vredu
17	-2.2	-0.1	19.2979	1.1	Vredu
18	-0.9	0.5	19.2986	1.2	Vredu
19	-2.1	0.6	19.2974	1.0	Vredu
20	-1.6	-0.3	19.2987	0.9	Vredu
21	-2.2	-1.5	19.2993	1.0	Vredu
22	-2.8	-1.6	19.2989	0.9	Vredu
23	-2.9	-0.9	19.2981	0.9	Vredu
24	-0.7	-1.8	19.3012	1.2	Vredu
25	1.9	-3.8	19.3057	1.1	Vredu
26	1.2	-3.1	19.3042	1.1	Vredu
27	2.3	-2.8	19.3051	0.9	Vredu
28	2.9	-4.0	19.3069	1.2	Vredu
29	1.3	-3.8	19.3051	1.2	Vredu
30	1.5	-5.0	19.3065	0.9	Vredu
31	2.6	-1.7	19.3042	1.0	Vredu
32	3.7	-1.8	19.3055	1.0	Vredu
33	2.3	0.3	19.3020	1.2	Vredu
34	2.6	0.9	19.3016	1.2	Vredu
35	2.7	-1.3	19.3040	1.1	Vredu
36	1.5	-2.6	19.3042	1.3	Vredu
37	1.4	-1.0	19.3024	1.3	Vredu
38	1.8	-0.1	19.3020	1.3	Vredu
39	0.4	1.3	19.2991	1.3	Vredu
40	1.6	1.0	19.3006	1.2	Vredu
41	1.5	0.2	19.3013	1.1	Vredu
42	0.4	1.2	19.2993	1.1	Vredu
43	0.6	3.2	19.2974	1.4	Vredu
44	1.5	1.8	19.2997	1.3	Vredu
45	-0.4	1.1	19.2985	1.3	Vredu
46	-2.6	0.9	19.2964	1.1	Vredu

Največje izmerjeno odstopanje razpona: 7.4 mm (Dovoljeno: 10 mm)

Najmanjše izmerjeno odstopanje razpona: 0.2 mm

Povprečno odstopanje razpona: 2.8 mm

Povprečna natančnost razpona: 1.2 mm

 IZRAČUN VIŠINSKE RAZLIKE TIRNIC ŽERJAVNE PROGE

MAGISTRSKO DELO

Kontrolne meritve žerjavne proge s terestričnim laserskim skeniranjem

Avtor: Jan Možina

Datum in čas: 5. MAREC 2016 01:13:54.3

Vhodni parameter:

- Projektirani razpon žerjavne proge: 19.3000 m

- Širina glave tirnice: 0.1000 m

VERTIKALNI POTEK ŽERJAVNE PROGE

Profil	Odmik leve tirnice [mm]	Odmik desne tirnice [mm]	Višinska razlika [mm]	Natančnost višinske razlike [mm]	Kontrola višinske razlike
1	1.2	-0.9	2.2	1.6	Vredu
2	1.5	-0.3	1.8	1.5	Vredu
3	0.6	-1.1	1.7	1.6	Vredu
4	1.0	-2.4	3.4	1.2	Vredu
5	-1.0	-2.4	1.4	1.1	Vredu
6	-2.6	-1.2	-1.5	1.3	Vredu
7	-3.9	0.3	-4.1	1.3	Vredu
8	-3.3	0.4	-3.7	1.3	Vredu
9	-3.4	0.4	-3.9	1.1	Vredu
10	-2.7	0.7	-3.3	0.9	Vredu
11	-1.6	1.3	-2.9	0.9	Vredu
12	-1.4	1.8	-3.1	0.8	Vredu
13	-1.4	2.4	-3.8	0.9	Vredu
14	-0.7	2.4	-3.0	0.8	Vredu
15	0.8	2.3	-1.5	1.0	Vredu
16	2.2	1.9	0.3	0.8	Vredu
17	3.6	2.0	1.7	1.0	Vredu
18	4.4	1.1	3.3	0.9	Vredu
19	2.8	-0.0	2.8	0.9	Vredu
20	0.7	-0.9	1.6	0.9	Vredu
21	-1.4	-1.8	0.4	0.9	Vredu
22	-1.4	-2.3	0.8	1.0	Vredu
23	-0.9	-2.8	1.8	1.0	Vredu
24	-1.9	-2.1	0.2	1.4	Vredu
25	-1.4	-3.4	2.1	1.1	Vredu
26	-1.4	-4.7	3.4	1.5	Vredu
27	-1.6	-4.8	3.3	1.5	Vredu
28	-1.3	-5.0	3.7	1.2	Vredu
29	-1.0	-5.3	4.3	1.0	Vredu
30	-0.1	-5.5	5.4	1.1	Vredu
31	0.4	-4.6	4.9	1.2	Vredu
32	0.1	-4.1	4.2	1.2	Vredu
33	1.2	-5.1	6.3	1.3	Vredu
34	3.3	-4.3	7.6	1.2	Vredu
35	3.6	-4.0	7.6	1.6	Vredu
36	3.9	-4.6	8.5	1.7	Vredu
37	4.8	-3.9	8.7	1.4	Vredu
38	5.9	-3.4	9.3	1.5	Vredu
39	4.8	-1.3	6.2	1.3	Vredu
40	5.0	-1.4	6.3	1.6	Vredu
41	4.0	0.4	3.6	1.6	Vredu
42	3.3	1.7	1.6	1.6	Vredu
43	4.8	3.5	1.3	1.7	Vredu
44	4.0	4.5	-0.5	1.5	Vredu
45	6.0	4.9	1.1	1.8	Vredu

46 | 7.3 5.7 1.7 1.4 Vredu

Največja izmerjena višinska razlika: 9.3 mm (Dovoljeno: 32.2 mm)
 Najmanjša izmerjena višinska razlika: 0.2 mm
 Povprečna višinska razlika: 3.4 mm
 Povprečna natančnost višinske razlike: 1.2 mm

I.4: Odstranitev 95 % točk

 IZRAČUN RAZPONA TIRNIC ŽERJAVNE PROGE

 MAGISTRSKO DELO

Kontrolne meritve žerjavne proge s terestričnim laserskim skeniranjem

Avtor: Jan Možina

Datum in čas: 5. MAREC 2016 01:16:57.1

Vhodni parameter:

- Projektirani razpon žerjavne proge: 19.3000 m

- Širina glave tirnice: 0.1000 m

HORIZONTALNI POTEK ŽERJAVNE PROGE

Profil	Odmik leve tirnice [mm]	Odmik desne tirnice [mm]	Razpon [m]	Natančnost razpona [mm]	Kontrola razpona
1	-0.7	6.6	19.2927	1.7	Vredu
2	-0.1	6.3	19.2936	1.6	Vredu
3	1.0	5.3	19.2957	1.6	Vredu
4	0.9	3.4	19.2975	1.4	Vredu
5	0.2	4.2	19.2960	1.3	Vredu
6	-0.5	5.4	19.2942	1.3	Vredu
7	-0.2	2.2	19.2976	1.2	Vredu
8	0.1	-1.2	19.3013	1.2	Vredu
9	-0.7	-0.2	19.2995	1.2	Vredu
10	1.2	-3.1	19.3043	1.2	Vredu
11	-1.1	-2.3	19.3012	1.2	Vredu
12	0.1	0.3	19.2998	1.2	Vredu
13	-0.6	-0.9	19.3003	1.1	Vredu
14	-0.8	0.0	19.2992	1.1	Vredu
15	-0.3	0.4	19.2994	1.1	Vredu
16	-1.8	-0.6	19.2988	1.1	Vredu
17	-2.4	0.4	19.2972	1.1	Vredu
18	-0.9	0.6	19.2985	1.2	Vredu
19	-2.4	0.6	19.2970	0.9	Vredu
20	-1.0	-0.7	19.2996	0.9	Vredu
21	-2.1	-1.6	19.2995	1.1	Vredu
22	-2.4	-1.5	19.2992	0.9	Vredu
23	-3.8	-0.9	19.2972	0.9	Vredu
24	0.1	-1.7	19.3018	1.4	Vredu
25	1.6	-3.9	19.3054	1.0	Vredu
26	1.8	-2.9	19.3047	1.0	Vredu
27	1.4	-3.2	19.3046	0.9	Vredu
28	3.6	-4.0	19.3076	1.1	Vredu
29	0.7	-4.4	19.3051	1.4	Vredu
30	2.1	-4.1	19.3062	0.9	Vredu
31	2.0	-1.9	19.3039	1.1	Vredu
32	4.7	-2.1	19.3067	1.1	Vredu
33	3.2	0.7	19.3026	1.2	Vredu

34		1.7	-0.6	19.3023	1.0	Vredu
35		2.8	-3.1	19.3059	1.0	Vredu
36		2.1	-1.1	19.3032	1.3	Vredu
37		0.6	-2.0	19.3026	1.3	Vredu
38		1.4	-0.2	19.3016	1.4	Vredu
39		1.7	0.3	19.3015	0.7	Vredu
40		-0.1	1.3	19.2986	1.0	Vredu
41		2.3	0.6	19.3017	0.9	Vredu
42		0.2	1.9	19.2983	1.1	Vredu
43		-1.3	1.0	19.2977	1.0	Vredu
44		2.4	1.6	19.3008	1.1	Vredu
45		0.9	0.1	19.3009	0.9	Vredu
46		-2.8	9.1	19.2882	0.9	NI VREDU

Največje izmerjeno odstopanje razpona: 11.8 mm (Dovoljeno: 10 mm)
 Najmanjše izmerjeno odstopanje razpona: 0.2 mm
 Povprečno odstopanje razpona: 3.1 mm
 Povprečna natančnost razpona: 1.1 mm

 IZRAČUN VIŠINSKE RAZLIKE TIRNIC ŽERJAVNE PROGE

MAGISTRSKO DELO

Kontrolne meritve žerjavne proge s terestričnim laserskim skeniranjem

Avtor: Jan Možina

Datum in čas: 5. MAREC 2016 01:16:57.1

Vhodni parameter:

- Projektirani razpon žerjavne proge: 19.3000 m

- Širina glave tirnice: 0.1000 m

VERTIKALNI POTEK ŽERJAVNE PROGE

Profil		Odmik leve tirnice [mm]	Odmik desne tirnice [mm]	Višinska razlika [mm]	Natančnost višinske razlike [mm]	Kontrola višinske razlike
1		1.1	-0.8	1.8	1.7	Vredu
2		1.0	-0.5	1.5	1.5	Vredu
3		0.5	-1.2	1.7	1.4	Vredu
4		0.9	-2.5	3.3	1.2	Vredu
5		-1.2	-2.5	1.3	1.1	Vredu
6		-2.6	-1.2	-1.3	1.4	Vredu
7		-3.8	0.2	-4.0	1.3	Vredu
8		-3.5	0.3	-3.8	1.3	Vredu
9		-3.8	0.3	-4.1	1.1	Vredu
10		-2.7	0.7	-3.4	0.9	Vredu
11		-1.8	1.1	-2.9	0.9	Vredu
12		-1.3	1.8	-3.1	0.8	Vredu
13		-1.5	2.3	-3.8	0.9	Vredu
14		-0.9	2.3	-3.1	0.8	Vredu
15		0.6	2.2	-1.6	1.0	Vredu
16		2.2	1.8	0.4	0.9	Vredu
17		3.3	1.9	1.4	1.1	Vredu
18		4.0	1.0	3.0	0.9	Vredu
19		2.5	0.0	2.5	0.9	Vredu
20		0.2	-1.1	1.3	1.0	Vredu
21		-1.3	-2.1	0.8	0.8	Vredu
22		-0.9	-2.5	1.6	1.3	Vredu
23		-1.2	-2.4	1.2	1.0	Vredu
24		-1.8	-2.1	0.3	1.4	Vredu
25		-1.2	-3.5	2.3	1.2	Vredu

26		-1.9	-4.9	2.9	1.5	Vredu
27		-1.3	-5.2	3.9	1.5	Vredu
28		-1.0	-4.9	3.9	0.9	Vredu
29		-1.2	-5.2	4.0	0.9	Vredu
30		0.2	-5.6	5.9	1.1	Vredu
31		0.1	-4.4	4.5	1.0	Vredu
32		0.8	-3.6	4.4	1.3	Vredu
33		1.1	-5.7	6.8	1.5	Vredu
34		3.1	-4.5	7.6	1.0	Vredu
35		3.6	-3.7	7.2	1.7	Vredu
36		3.3	-4.4	7.8	1.8	Vredu
37		5.4	-3.7	9.1	1.4	Vredu
38		5.2	-3.5	8.7	1.6	Vredu
39		4.2	-1.6	5.8	1.7	Vredu
40		5.4	-1.4	6.8	1.3	Vredu
41		4.6	0.4	4.2	1.4	Vredu
42		3.1	1.0	2.0	1.8	Vredu
43		4.0	3.2	0.9	1.6	Vredu
44		5.5	4.2	1.3	1.7	Vredu
45		5.7	5.1	0.6	1.7	Vredu
46		8.0	5.8	2.2	1.3	Vredu

Največja izmerjena višinska razlika: 9.1 mm (Dovoljeno: 32.2 mm)

Najmanjša izmerjena višinska razlika: 0.3 mm

Povprečna višinska razlika: 3.4 mm

Povprečna natančnost višinske razlike: 1.2 mm

I.5: Odstranitev 97 % točk

IZRAČUN RAZPONA TIRNIC ŽERJAVNE PROGE

MAGISTRSKO DELO

Kontrolne meritve žerjavne proge s terestričnim laserskim skeniranjem

Avtor: Jan Možina

Datum in čas: 5. MAREC 2016 01:20:42.3

Vhodni parameter:

- Projektirani razpon žerjavne proge: 19.3000 m

- Širina glave tirnice: 0.1000 m

HORIZONTALNI POTEK ŽERJAVNE PROGE

Profil	Odmik levo tirnice [mm]	Odmik desne tirnice [mm]	Razpon [m]	Natančnost razpona [mm]	Kontrola razpona	
1		-0.6	5.8	19.2936	1.7	Vredu
2		-0.8	6.3	19.2929	1.6	Vredu
3		0.8	4.8	19.2959	1.5	Vredu
4		0.5	3.4	19.2971	1.4	Vredu
5		0.4	3.7	19.2967	1.3	Vredu
6		-0.4	5.3	19.2944	1.3	Vredu
7		-0.7	2.4	19.2969	1.5	Vredu
8		0.3	-1.4	19.3017	1.2	Vredu
9		-0.7	-1.0	19.3003	1.2	Vredu
10		1.5	-2.8	19.3043	1.2	Vredu

11		-0.7	-2.2	19.3016	1.1	Vredu
12		-0.5	0.2	19.2993	1.4	Vredu
13		-0.4	-1.2	19.3008	1.1	Vredu
14		-1.6	0.7	19.2976	0.9	Vredu
15		-1.3	0.0	19.2987	1.0	Vredu
16		-2.0	-0.7	19.2987	1.0	Vredu
17		-1.7	0.5	19.2978	1.0	Vredu
18		0.6	0.7	19.2999	1.1	Vredu
19		-1.5	-0.1	19.2985	1.0	Vredu
20		-0.9	-1.4	19.3005	1.0	Vredu
21		-2.2	-1.0	19.2988	1.0	Vredu
22		-3.4	-1.8	19.2985	1.1	Vredu
23		-2.3	-0.6	19.2983	1.0	Vredu
24		1.1	0.2	19.3009	1.5	Vredu
25		2.1	-1.9	19.3040	1.1	Vredu
26		1.5	-3.6	19.3051	1.0	Vredu
27		2.7	-2.0	19.3046	1.0	Vredu
28		3.3	-3.5	19.3068	1.1	Vredu
29		1.9	-4.5	19.3063	1.0	Vredu
30		1.3	-3.7	19.3050	0.9	Vredu
31		2.0	-4.2	19.3062	1.0	Vredu
32		3.4	-2.5	19.3059	0.9	Vredu
33		2.6	-2.8	19.3054	1.0	Vredu
34		3.2	1.0	19.3021	1.2	Vredu
35		2.4	-2.7	19.3051	1.0	Vredu
36		1.2	-2.6	19.3037	1.1	Vredu
37		1.0	-1.2	19.3022	1.5	Vredu
38		-1.4	1.1	19.2975	1.1	Vredu
39		-0.4	3.7	19.2959	1.1	Vredu
40		2.8	-0.0	19.3028	1.0	Vredu
41		1.8	0.3	19.3015	1.3	Vredu
42		0.6	2.3	19.2983	0.7	Vredu
43		2.6	0.9	19.3017	0.7	Vredu
44		2.3	1.0	19.3013	1.1	Vredu
45		-2.0	-0.7	19.2987	0.9	Vredu

Največje izmerjeno odstopanje razpona: 7.1 mm (Dovoljeno: 10 mm)
 Najmanjše izmerjeno odstopanje razpona: 0.1 mm
 Povprečno odstopanje razpona: 3.0 mm
 Povprečna natančnost razpona: 1.1 mm

 IZRAČUN VIŠINSKE RAZLIKE TIRNIC ŽERJAVNE PROGE

MAGISTRSKO DELO

Kontrolne meritve žerjavne proge s terestričnim laserskim skeniranjem

Avtor: Jan Možina

Datum in čas: 5. MAREC 2016 01:20:42.3

Vhodni parameter:

- Projektirani razpon žerjavne proge: 19.3000 m
- Širina glave tirnice: 0.1000 m

 VERTIKALNI POTEK ŽERJAVNE PROGE

Profil	Odmik	Odmik	Višinska	Natančnost	Kontrola višinske
	leve tirnice	desne tirnice	razlika	višinske razlike	razlike

	[mm]	[mm]	[mm]	[mm]	
1	1.5	-0.3	1.8	1.6	Vredu
2	1.6	0.2	1.3	1.6	Vredu
3	1.1	-0.7	1.9	1.3	Vredu
4	0.9	-2.1	3.0	1.2	Vredu
5	-1.0	-2.1	1.1	1.1	Vredu
6	-2.6	-0.9	-1.7	1.1	Vredu
7	-3.3	0.4	-3.7	1.3	Vredu
8	-3.3	0.5	-3.9	1.3	Vredu
9	-2.6	0.7	-3.3	1.3	Vredu
10	-2.6	0.8	-3.4	0.9	Vredu
11	-1.5	1.4	-3.0	0.8	Vredu
12	-1.2	1.9	-3.1	0.9	Vredu
13	-1.1	2.5	-3.6	0.9	Vredu
14	-0.4	2.6	-3.0	0.8	Vredu
15	0.9	2.5	-1.6	0.9	Vredu
16	2.6	2.0	0.6	0.7	Vredu
17	3.5	2.2	1.3	1.0	Vredu
18	4.5	1.4	3.1	0.9	Vredu
19	2.6	-0.2	2.8	0.9	Vredu
20	0.8	-0.7	1.4	0.8	Vredu
21	-1.3	-1.7	0.5	0.8	Vredu
22	-0.8	-2.3	1.5	1.0	Vredu
23	-0.6	-2.4	1.9	0.9	Vredu
24	-1.2	-1.8	0.5	1.1	Vredu
25	-1.6	-3.2	1.6	1.0	Vredu
26	-1.8	-4.4	2.7	1.3	Vredu
27	-0.9	-5.1	4.2	1.1	Vredu
28	0.2	-5.0	5.2	0.9	Vredu
29	-0.3	-5.1	4.8	1.0	Vredu
30	0.8	-5.2	6.0	0.9	Vredu
31	0.3	-4.2	4.5	1.0	Vredu
32	1.2	-4.0	5.2	1.3	Vredu
33	1.8	-5.0	6.8	1.4	Vredu
34	3.8	-4.5	8.3	1.4	Vredu
35	2.3	-3.5	5.8	1.8	Vredu
36	3.7	-4.5	8.1	1.6	Vredu
37	4.6	-3.9	8.5	1.5	Vredu
38	5.7	-3.1	8.8	1.0	Vredu
39	4.6	-2.2	6.8	1.6	Vredu
40	5.7	-0.9	6.6	1.3	Vredu
41	4.8	-0.3	5.0	1.8	Vredu
42	2.4	2.0	0.4	2.1	Vredu
43	5.3	3.8	1.5	0.9	Vredu
44	4.1	4.5	-0.4	2.1	Vredu
45	2.7	5.3	-2.6	1.9	Vredu

Največja izmerjena višinska razlika: 8.8 mm (Dovoljeno: 32.2 mm)

Najmanjša izmerjena višinska razlika: 0.4 mm

Povprečna višinska razlika: 3.5 mm

Povprečna natančnost višinske razlike: 1.2 mm

I.6: Odstranitev 99 % točk

IZRAČUN RAZPONA TIRNIC ŽERJAVNE PROGE

MAGISTRSKO DELO

Kontrolne meritve žerjavne proge s terestričnim laserskim skeniranjem

Avtor: Jan Možina

Datum in čas: 5. MAREC 2016 01:23:40.7

Vhodni parameter:

- Projektirani razpon žerjavne proge: 19.3000 m

- Širina glave tirnice: 0.1000 m

HORIZONTALNI POTEK ŽERJAVNE PROGE

Profil	Odmik leve tirnice [mm]	Odmik desne tirnice [mm]	Razpon [m]	Natančnost razpona [mm]	Kontrola razpona
1	-0.6	6.8	19.2927	1.6	Vredu
2	0.8	6.9	19.2939	1.6	Vredu
3	1.6	5.3	19.2963	1.6	Vredu
4	1.2	3.4	19.2978	1.4	Vredu
5	0.8	3.6	19.2972	1.4	Vredu
6	-0.5	6.3	19.2932	1.2	Vredu
7	0.3	1.7	19.2986	1.1	Vredu
8	0.8	-1.6	19.3025	1.2	Vredu
9	-0.8	-0.9	19.3001	1.1	Vredu
10	2.2	-2.0	19.3042	1.2	Vredu
11	-0.9	-1.2	19.3004	1.1	Vredu
12	0.2	0.2	19.3000	1.1	Vredu
13	-0.3	0.2	19.2995	1.3	Vredu
14	-0.4	0.5	19.2991	1.0	Vredu
15	0.3	1.3	19.2990	0.9	Vredu
16	-2.3	-0.6	19.2983	1.1	Vredu
17	-1.3	2.0	19.2967	1.0	Vredu
18	2.0	2.2	19.2999	1.1	Vredu
19	-1.3	0.1	19.2986	0.9	Vredu
20	-0.5	0.1	19.2994	0.8	Vredu
21	-1.4	-1.2	19.2998	1.0	Vredu
22	-2.8	-2.3	19.2995	0.8	Vredu
23	-1.2	-1.2	19.3000	0.8	Vredu
24	0.2	2.0	19.2981	1.4	Vredu
25	3.2	-5.9	19.3091	0.8	Vredu
26	1.8	24.1	19.2777	0.8	NI VREDU
27	2.5	1.9	19.3006	0.6	Vredu

Največje izmerjeno odstopanje razpona: 22.3 mm (Dovoljeno: 10 mm)

Najmanjše izmerjeno odstopanje razpona: 0.0 mm

Povprečno odstopanje razpona: 3.0 mm

Povprečna natančnost razpona: 1.1 mm

IZRAČUN VIŠINSKE RAZLIKE TIRNIC ŽERJAVNE PROGE

MAGISTRSKO DELO

Kontrolne meritve žerjavne proge s terestričnim laserskim skeniranjem

Avtor: Jan Možina

Datum in čas: 5. MAREC 2016 01:23:40.7

Vhodni parameter:

- Projektirani razpon žerjavne proge: 19.3000 m

- Širina glave tirnice: 0.1000 m

VERTIKALNI POTEK ŽERJAVNE PROGE

Profil	Odmik levo tirnice [mm]	Odmik desno tirnice [mm]	Višinska razlika [mm]	Natančnost višinske razlike [mm]	Kontrola višinske razlike
1	1.8	-0.3	2.1	1.7	Vredu
2	1.9	0.4	1.4	1.6	Vredu
3	1.0	-0.7	1.7	1.5	Vredu
4	1.4	-2.0	3.4	1.1	Vredu
5	-0.6	-2.0	1.4	1.1	Vredu
6	-1.9	-0.6	-1.3	1.3	Vredu
7	-3.3	0.7	-4.0	1.3	Vredu
8	-3.1	1.1	-4.2	1.2	Vredu
9	-3.1	0.8	-3.9	1.1	Vredu
10	-1.9	1.2	-3.0	0.9	Vredu
11	-1.0	1.9	-2.8	1.1	Vredu
12	-1.0	2.2	-3.2	0.8	Vredu
13	-1.2	2.9	-4.1	0.8	Vredu
14	-0.2	2.9	-3.1	0.8	Vredu
15	1.4	2.7	-1.3	0.9	Vredu
16	3.1	2.3	0.7	0.7	Vredu
17	3.6	2.5	1.0	0.9	Vredu
18	5.3	1.0	4.3	0.9	Vredu
19	2.5	0.5	2.0	1.1	Vredu
20	1.1	-1.0	2.1	0.8	Vredu
21	-0.9	-1.0	0.1	1.0	Vredu
22	-0.6	-2.1	1.5	1.3	Vredu
23	-0.5	-2.0	1.5	1.3	Vredu
24	-0.9	-1.9	1.0	1.1	Vredu
25	-0.5	-2.8	2.2	1.1	Vredu
26	-0.5	-4.2	3.7	1.0	Vredu
27	-1.7	-3.5	1.8	2.1	Vredu

Največja izmerjena višinska razlika: 4.3 mm (Dovoljeno: 32.2 mm)

Najmanjša izmerjena višinska razlika: 0.1 mm

Povprečna višinska razlika: 2.3 mm

Povprečna natančnost višinske razlike: 1.1 mm