

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:

Gorišek, J., 2013. Uporaba sodobnih elektronskih tahimetrov za porebe geodezije v inženirstvu. Diplomski naloga. Ljubljana, Univerza v Ljubljani, Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo. (mentor Koler, B., somentor Urbančič, T.): 28 str.

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:

Gorišek, J., 2013. Uporaba sodobnih elektronskih tahimetrov za porebe geodezije v inženirstvu. B.Sc. Thesis. Ljubljana, University of Ljubljana, Faculty of civil and geodetic engineering. (supervisor Koler, B., co-supervisor Urbančič, T.): 28 pp.

Univerza
v Ljubljani
Fakulteta
za gradbeništvo
in geodezijo

Jamova 2, p.p. 3422
1115 Ljubljana, Slovenija
telefon (01) 47 68 500
faks (01) 42 50 681
fes@fe.uni-lj.si



UNIVERZITETNI ŠTUDIJ PRVE
STOPNJE GEODEZIJE IN
GEOINFORMATIKE

Kandidat:

JAKA GORIŠEK

UPORABA SODOBNIH ELEKTRONSKIH TAHIMETROV ZA POTREBE GEODEZIJE V INŽENIRSTVU

Diplomska naloga št.: 25/GIG

USE OF MODERN ELECTRONIC TOTAL STATIONS IN SURVEYING ENGINEERING

Graduation thesis No.: 25/GIG

Mentor:
doc. dr. Božo Koler

Predsednik komisije:
izr. prof. dr. Dušan Kogoj

Somentor:
asist. Tilen Urbančič

Ljubljana, 01. 07. 2013

STRAN ZA POPRAVKE

Stran z napako

Vrstica z napako

Namesto

Naj bo

IZJAVE

Spodaj podpisani **JAKA GORIŠEK** izjavljam, da sem avtor diplomskega dela z naslovom **"UPORABA SODOBNIH ELEKTRONSKIH TAHIMETROV ZA POTREBE GEODEZIJE V INŽENIRSTVU"**.

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

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

Velenje, 11.6.2013

BIBLIOGRAFSKO – DOKUMENTACIJSKA STRAN IN IZVLEČEK

UDK	528.53(043.2)
Avtor	Jaka Gorišek
Mentor	doc. dr. Božo Koler
Somentor	asist. Tilen Urbančič
Naslov	Uporaba sodobnih elektronskih tahimetrov za potrebe geodezije v inženirstvu
Tip dokumenta	Dipl.nal.– UNI
Obseg in oprema	28 str., 9 pregl., 14 sl., 22 en.
Ključne besede	Leica TS06 FlexLine, elektronski tahimeter, uporabniški programi, referenčna linija, referenčna ravnina

Izvleček

V sodobnih časih se je z razvojem tehnologije poenostavilo delo z instrumenti v geodeziji. Poleg boljše strojne opreme sodobni elektronski tahimetri ponujajo vedno več uporabniških programov, ki olajšajo delo geodeta na terenu. V tem diplomskem delu je opisana uporaba programov instrumenta Leica TS06 FlexLine na štirih različnih praktičnih primerih, kot so odmik točke od referenčne linije, določitev višine nedostopne točke, izračun površine in določitev odmika točke od referenčne ravnine.

BIBLIOGRAPHIC – DOCUMENTALISTIC INFORMATION

UDC	528.53(043.2)
Autor	Jaka Gorišek
Supervisor	Assist. Prof. Božo Koler, Ph.D
Co-advisor	Assist. Tilen Urbančič
Title	Use of modern electronic total stations in surveying engineering
Documenttype	Graduation thesis – University studies
Notes	28 p., 9 tab., 14 fig., 22 eq.
Keywords	Leica TS06 FlexLine electronic tachymeter, user software, reference line, reference plane

Abstract

Working in surveying has become easier with the development of modern technology. Instruments nowadays have better mechanical equipment, as well as many more user applications, that make working on terrain easier. This diploma paper describes useful applications that can be found in Leica TS06 FlexLine instrument, such as determining heights, measuring surfaces and determining deviations.

ZAHVALA

Zahvalil bi se rad mentorju doc.dr. Božu Kolerju in somentorju asist. Tilnu Urbančiču za vso strokovno pomoč pri izdelavi te diplomske naloge. Prav tako bi se rad zahvalil tudi staršema, ki ste me v vseh pogledih podpirali skozi celoten čas študija.

KAZALO

KAZALO SLIK	VII
KAZALO PREGLEDNIC	VII
1 UVOD	1
2 OPIS INSTRUMENTARIJA IN METOD IZMERE	3
2.1 Instrument Leica TS06 FlexLine	3
2.2 Programska oprema tahimetra	4
2.3 Opis uporabljenih programov.....	5
2.3.1 Referenčna linija	5
2.3.2 Nedostopna višina	7
2.3.3 Površina in volumen.....	8
2.3.4 Odmik od ravnine– COGO	10
2.4 Polarna metoda izmere	11
3 REZULTATI IN ANALIZA MERITEV	14
3.1. Območje izmere	14
3.2 Rezultati izmere.....	14
3.2.1 Odmik od referenčne linije.....	15
3.2.2 Določitev višine nedostopne točke	16
3.3.3 Površina.....	17
3.3.4 Odmik od ravnine (COGO).....	19
4 ZAKLJUČEK	21
VIRI	22

KAZALO SLIK

Slika 1: Elektronski tahimeter Leica TS06	4
Slika 2: Mini prizma Leica	4
Slika 3: Skica referenčne linije, LeicaFlexLine TS02/TS06/TS09 User Manual	5
Slika 4: Skica meritev nedostopne višine	7
Slika 5: Skica merjenja površine, LeicaFlexLine TS02/TS06/TS09 User Manual	8
Slika 6: Skica izračuna površine mnogokotnika	9
Slika 7: Določitev referenčne ravnine, LeicaFlexLine TS02/TS06/TS09 User Manual	10
Slika 8: Razdalja med točko in ravnino	11
Slika 9: Skica izmere po polarni metodi	12
Slika 10: Območje meritev, Google Earth	14
Slika 11: Meritve odklikov od referenčne linije	15
Slika 12: Meritev nedostopne višine	16
Slika 13: Območje meritev površine	18
Slika 14: Meritev odklika točke od ravnine	20

KAZALO PREGLEDNIC

Preglednica 1: Tehnične lastnosti tahimetra Leica TS06, Leica Geosystems. (2009). LeicaFlexLine TS06 Total station	3
Preglednica 2: Rezultati izmere in izračuna odklikov od referenčne linije	15
Preglednica 3: Izmerjene vrednosti za izračun nedostopne višine	17
Preglednica 4: Rezultati izmere in izračuna nedostopne višine	17
Preglednica 5: Seznam lomnih točk in stojišča za izračun površine	18
Preglednica 6: Seznam točk za izračun površine zakoličenega objekta	19
Preglednica 7: Rezultati izmere in izračuna površin	19
Preglednica 8: Seznam točk za izračun odklika od ravnine	20
Preglednica 9: Rezultati izmere in izračuna odklika od ravnine	20

Ta stran je namenoma prazna

1 UVOD

Geodezija v inženirstvu je ena od ved geodezije, ki se je kot samostojna veda uveljavila šele pred kratkim časom, in sicer po 2. svetovni vojni. Obsega in obravnava področja, povezana z izgradnjo večjih projektov v industriji in gradbeništvu, z gradnjo visokih stavb, GJI¹, zakoličbami objektov in proizvodnih linij, kontrolnimi meritvami ter drugimi deli povezanimi predvsem z gradbeništvom. Geodezija v inženirstvu se je razvila zaradi potreb boljših oz. bolj kakovostnih postopkov izmere predvsem pri zahtevnejših projektih. Geodet sodeluje v vseh fazah geodetskih del pri gradnji objektov – pred graditvijo objektov, med samo graditvijo in po izgradnji objektov, pri čemer se glede na tehnične zahteve in gospodarnost izvajanja geodetskih del izbere ustrezen instrumentarij in optimalen postopek meritev. Osnove pri meritvah v geodeziji v inženirstvu predstavljajo geodetske mreže, ki omogočajo opravljanje opazovanj s predvideno natančnostjo na celotnem področju gradbišča in v katerikoli fazi izgradnje objekta (Breznikar, Koler, 2009).

Za potrebe geodezije v inženirstvu se pri meritvah pogosto uporabljajo sodobni elektronski tahimetri. Elektronski tahimetri združujejo teodolit in razdaljemer in so univerzalni geodetski instrument za merjenje horizontalnih in zenitnih smeri ter dolžin. Nastali so s hitrim razvojem tehnologije, in se razvili v smeri avtomatizacije merskih postopkov, večje ločljivosti in hitrosti meritev. Združujejo različne merske senzorje za zajem različnih podatkov ter z avtomatizacijo poskušajo zmanjšati vpliv operaterja na merski postopek. Mnogi sodobni tahimetri so tako danes opremljeni s servo motorji in CCD kamerami, ki omogočajo avtomatiziranje nekaterih procesov, kot sta samodejno iskanje cilje točke in viziranje ter sledenje točki. Takšni instrumenti so torej uporabni za:

- izmero geodetskih mrež,
- polarno detajlno izmero in zakoličevanje,
- spremljanje stabilnosti tal in objektov,
- merjenje trajektorij premičnih objektov ...

V sodobnem času se uveljavljajo tudi t.i. *SmartStation-i* oz. *pametne postaje*, ki vsebujejo sodobne tahimetre in GNSS² sprejemnike v enem in omogočajo določitev absolutnega položaja v zelo kratkem času (Kogoj 2012).

¹ GJI – gospodarska javna infrastruktura

² GNSS – Globalni navigacijski satelitski sistemi

V sklopu te diplomske naloge smo na nekaterih primerih praktično in teoretično preizkusili delovanje štirih programov sodobnega elektronskega tahimetra Leica Geosystems TS06 Flexline. Preizkusili smo programe, s katerimi sodobni tahimetri omogočajo hitro in neposredno določitev količin, kot so odmiki od linije in ravnine, izračun površine ter izračun nedostopne višine. V prvem delu diplomskega dela smo iskane količine določili z uporabo programa, ki je vgrajen v instrument, v drugem delu smo ločeno na osnovi neodvisnih meritev izračunali iste količine sami in jih primerjali med seboj.

2 OPIS INSTRUMENTARIJA IN METOD IZMERE

2.1 Instrument Leica TS06 FlexLine

Instrument Leica TS06 FlexLine je instrument švicarskega proizvajalca geodetske opreme Leica Geosystems in je iz družine tahimetrov FlexLine, ki so vsestransko uporabni v geodeziji. Poleg modela TS06 sta v tej družini še modela TS02 in TS09, ki pa se nekoliko razlikujeta po specifikacijah glede doseganja natančnosti in vgrajeni strojni opremi (Leica geosystems, 2008).

V sklopu te diplomske naloge smo uporabljali Leica TS06 FlexLine instrument. Tehnične lastnosti instrumenta so predstavljene v Preglednici 1. Poleg instrumenta smo na terenu uporabljali še drug instrumentarij, in sicer stativ Leica GST20, mini prizmo Leica GMP111 ter sestavljivo mini trasirko Leica GLS115, ki so prikazani na Slikah 1 in 2.

Preglednica 1: Tehnične lastnosti tahimetra Leica TS06 (Leica Geosystems, 2009).

Leica TS06	
Natančnost merjenja kotov $\sigma_{ISO-17123-3}$	2" (0.6mgon)
Domet razdaljemera / (brez reflektorja)	3500 m/ 1000 m
Natančnost merjenja razdalj z reflektorjem $\sigma_{ISO-17123-4}$	1,5 mm + 2 ppm
Natančnost merjenja razdalj brez reflektorja $\sigma_{ISO-17123-4}$	2 mm+ 2 ppm
Kompensator	4-osni kompensator
Natančnost kompensatorja	0,5"
Pomnilnik	100000 točk/ 60000 meritev
USB pomnilnik	1GB, prenos 1000 točk/sek
Povečava daljnogleda	30 x
Vidno polje daljnogleda	1°30' / 2,7 m na 100 m
Fokus	> 1,7 m
Teža	5,1 kg



Slika 1: Elektronski tahimeter Leica
TS06 Flexline



Slika 2: Mini prizma Leica

2.2 Programska oprema tahimetra

Tahimeter Leica TS06 FlexLine omogoča s svojo programsko opremo imenovano FlexField lažje in hitrejše delo ter izračun nekaterih količin neposredno na terenu. Meni instrumenta TS06 FlexLine je v osnovi sestavljen iz 6 osnovnih programov:

- <Hitr.Mer> (hitre meritve),
- <Programi>,
- <Upravl>. (upravljanje),
- <Prenos>,
- <Nastavi>,
- <Orodja>.

Podmeni <Programi> omogoča še naslednje funkcije:

- zakoličba,
- prosto stojišče,
- referenčni element
 - referenčna linija,
 - referenčni lok,
- vezna razdalja,
- površina in volumen,

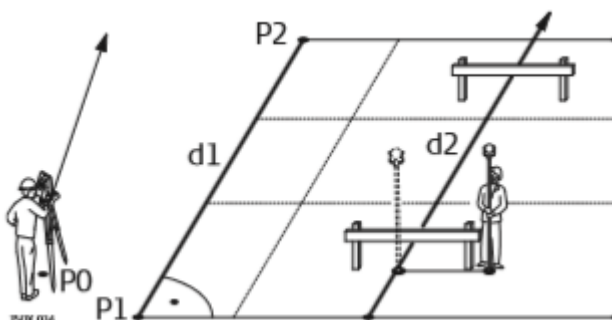
- nedostopna višina,
- gradnja,
- COGO (COordinateGeOmetry)
 - vezna razdalja,
 - poligon,
 - odmik,
 - podaljšek,
- cesta 2D,
- cesta 3D (opcijsko),
- poligonPRO,
- referenčna ravnina (opcijsko).

Iz programske opreme instrumenta smo izbrali ter teoretično in praktično preizkusili naslednje: *Referenčna linija*, *Nedostopna višina*, *Površina in volumen*, in *Odmik od ravnine* v sklopu programov COGO (Geoservis, 2009).

2.3 Opis uporabljenih programov

V nadaljevanju so opisani in razloženi nekateri programi, ki so instalirani v tahimeter in so bili v diplomski nalogi tudi preizkušeni na praktičnih primerih.

2.3.1 Referenčna linija



Slika 3: Skica referenčne linije (LeicaFlexLine TS02/TS06/TS09 User Manual)

Program *Referenčna linija* je dostopen v meniju instrumenta '*Program|Referenčni element*'. Z uporabo tega programa je operaterju instrumenta omogočena enostavna zakoličba ali izmera linije, ki je potrebna pri izgradnji cest, zgradb ali enostavnih izkopavanj. S to aplikacijo definiramo referenčno linijo, s pomočjo katere lahko nato opravljamo naloge, kot so:

- merjenje vzdolžnega in prečnega odmika – podprogram na podlagi meritev ali koordinat določi odmike merjene/izbrane točke v vzdolžni, prečni in navpični smeri glede na referenčno linijo.
- zakoličba točk – ta podprogram računa razliko koordinat med dano in merjeno točko, ter prikazuje pravokotne in polarne zakoličbene elemente do merjene točke.
- zakoličba rastra (pravokotne mreže) – podprogram računa pravokotne in polarne zakoličbene elemente za točke rastrske mreže, ki predstavljajo linije, vzporedne referenčni liniji, kjer je oddaljenost med linijami prečni korak rastra, vzdolžni korak pa je razdalja v smeri referenčne linije vzdolž rastrske linije.
- zakoličbo segmentov linije – podprogram računa in prikaže pravokotne in polarne zakoličbene elemente za enakomerno razporejene točke vzdolž linije, kjer je pogoj, da vse segmentne točke ležijo med začetno in končno točko, ki definirata linijo.

Vrsto referenčnega elementa lahko določa linija ali lok. Obravnavali smo referenčno linijo, ki jo lahko definiramo kot bazno linijo med dvema točkama, katerih koordinate so lahko vnesene ročno, prebrane iz pomnilnika instrumenta ali pa izmerjene na terenu. Referenčna linija je lahko od bazne premaknjena v vzdolžni in prečni smeri, po višini, ali pa okoli prve točke bazne linije rotirana za določen kot. Po definiranju referenčne linije lahko z ustreznimi podprogrami izvedemo prej omenjene meritve, to so vzdolžni in prečni odmik, zakoličbo, zakoličbo rastra ali segmenta (Geoservis, 2009).

Program na podlagi začetne in končne točke določi enačbo premice. Ob znanih koordinatah točk $T_1(x_{T1}, y_{T1})$ in $T_2(x_{T2}, y_{T2})$ lahko enačbo premice zapišemo:

$$y = k * x + n , \tag{1}$$

kjer n predstavlja presečišče grafa z ordinatno osjo ali začetno vrednost pri $x = 0$, k je smerni koeficient premice in je enak:

$$k = \frac{y_{T2} - y_{T1}}{x_{T2} - x_{T1}} \tag{2}$$

Če referenčno linijo premaknemo vzdolžno, se ta premakne po enaki navidezni premici, na kateri leži referenčna linija → to pomeni, da koeficient k ostane enak. Če pa jo premaknemo prečno, kot prikazuje Slika 3, ostane k enak, spremeni pa se začetna vrednost n . V primeru

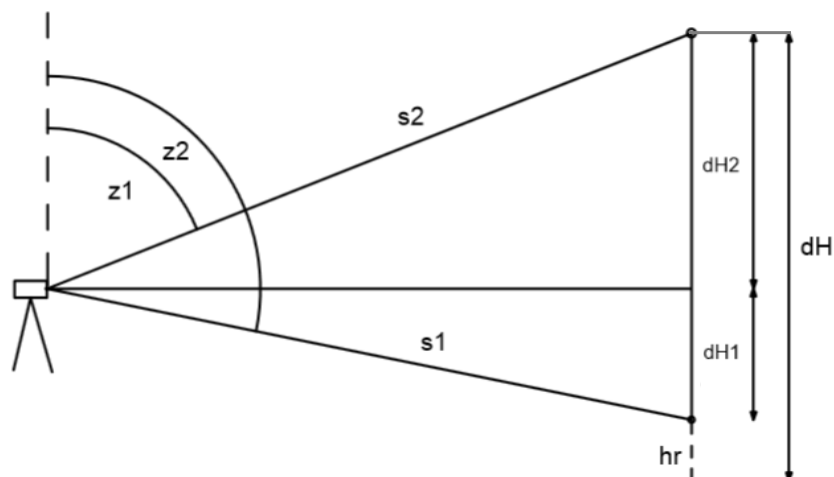
zasuka premice okoli neke točke se spremenita koeficient k in začetna vrednost n , saj se v tem primeru spremeni položaj oz. koordinate točke T_2 .

Oddaljenost poljubne točke od premice izračunamo tako, da izhajamo iz ploščine trikotnika, ki ima oglišča v točkah, ki definirata premico (T_1 in T_2) in oddaljeni točki T_0 . V tem trikotniku predstavlja višino trikotnika razdalja od iskane točke T_0 do premice ravno oddaljenost, ki jo iščemo. To višino trikotnika lahko tako zapišemo:

$$d(T_0, p) = \frac{|ax_0 + by_0 + c|}{\sqrt{a^2 + b^2}}. \quad (3)$$

Števec v enačbi 3 predstavlja dolžino premice, zapisane v implicitni obliki, imenovalec pa razdaljo med točkama T_1 in T_2 (Vidav, 1987).

2.3.2 Nedostopna višina



Slika 4: Skica meritev nedostopne višine

Program najdemo v meniju instrumenta pod '*Program|Nedostopna višina*'. Ta omogoča operaterju določitev višinske razlike in višine točke, ki se nahaja neposredno nad točko, ki jo navadno označimo s prizmo ali reflektorjem. Program na podlagi izmerjene dolžine in izmerjenih zenitnih razdalj nato izračuna višino nedostopne točke (Geoservis, 2009).

Pri določanju višine nedostopne točke je pomembno, da je reflektor neposredno pod točko, katere višino skušamo izmeriti. Kot vidimo na Sliki 4, moramo izmeriti zenitni razdalji z_1 , z_2 ter dolžino s_1 , poznati pa moramo tudi višino reflektorja h_r . Višinsko razliko med točko na terenu in nedostopno točko določimo na sledeči način:

- Najprej izračunamo dH_1 iz spodnjega trikotnika, kjer poznamo stranico s_1 ter kot z_1 :

$$dH_1 = s_1 * \sin(z_1 - 90^\circ) , \quad (4)$$

- nato po Pitagorovem izreku izračunamo horizontalno dolžino:

$$s_{Hz} = \sqrt{s_1^2 - dH_1^2} \quad (5)$$

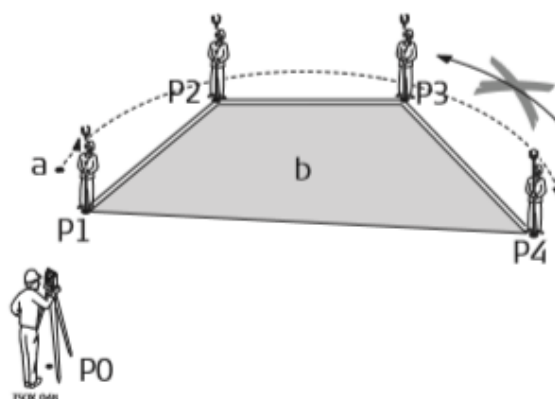
- višinsko razliko v zgornjem trikotniku dH_2 izračunamo po sinusnem stavku:

$$dH_2 = \frac{\sin(90^\circ - z_2) * s_{Hz}}{\sin(z_2)} , \quad (6)$$

- skupna višinska razlika:

$$dH = dH_1 + dH_2 + h_r \quad (7)$$

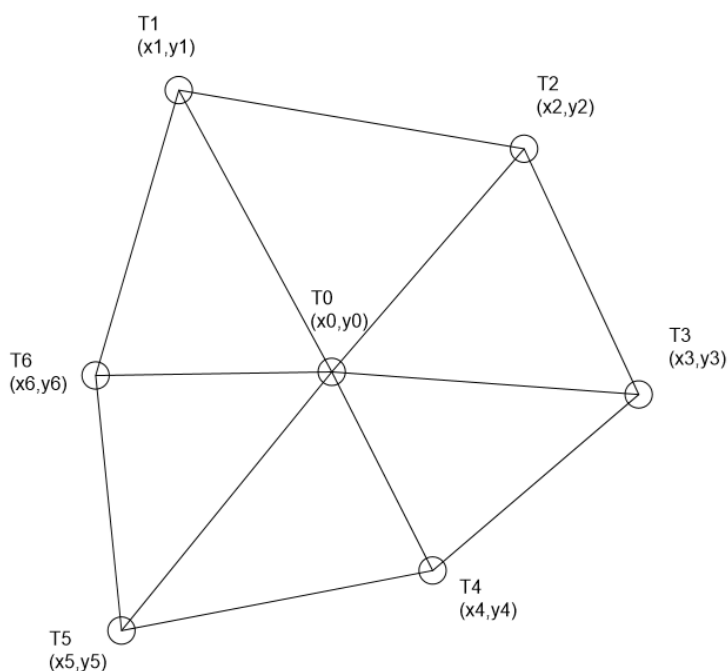
2.3.3 Površina in volumen



Slika 5: Skica merjenja površine (LeicaFlexLine TS02/TS06/TS09 User Manual)

Program se nahaja v meniju instrumenta pod '*Program|Površina in volumen*'. Z uporabo tega programa je operaterju instrumenta omogočeno izračunati površino lika, določenega z največ 50 oglišči. Pri tem je zaradi enačbe, po kateri instrument izračuna površino lika pomembno, da merimo v smeri urinega kazalca (Slika 5)(Geoservis, 2009).

Ta upošteva, da je vsak ravninski mnogokotnik mogoče razstaviti na manjše trikotnike in tako z zaporednim zapisom ploščin trikotnikov določiti skupno površino lika.



Slika 6: Skica izračuna površine mnogokotnika

Površino iz mnogokotnika (Slika 6) razčlenimo na trikotnike in jo izračunamo:

$$p = \frac{1}{2} \sum_{i=1}^n (x_i (y_{i+1} - y_{i-1})) = -\frac{1}{2} \sum_{i=1}^n (y_i (x_{i+1} - x_{i-1})) \quad (8)$$

Površino mnogokotnika lahko izračunamo tudi po enačbi:

$$p = \frac{1}{2} \sum_{i=1}^n (x_i + x_{i+1})(y_{i+1} - y_i) \quad (9)$$

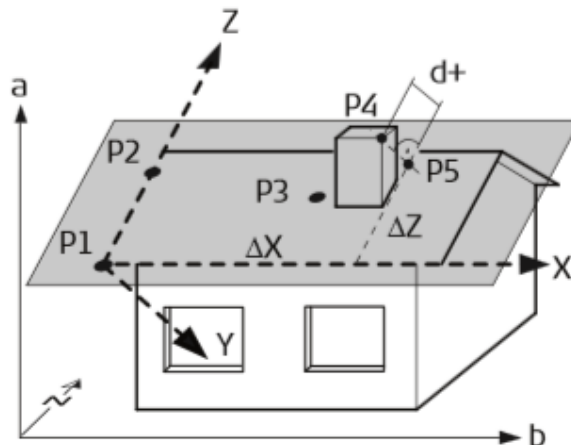
Ta površina je lahko projicirana na horizontalno ravnino ali pa merjena na nagnjeni ravnini, ki jo določimo s 3 točkami (3D). V primeru nagnjene ploskve enačbo za površino pomnožimo s kosinusom kota, pod katerim je ploskev nagnjena:

$$p = p^* \cos(\alpha) \quad (10)$$

Nato lahko pod izbranim območjem določimo tudi volumen s konstanto višino. Pri tem definiramo parameter Δh , ki predstavlja višinsko razliko na merjenem območju. Volumen tako izračunamo po enačbi.

$$V = p^* \Delta h \quad (11)$$

2.3.4 Odmik od ravnine– COGO



Slika 7: Določitev referenčne ravnine (LeicaFlexLine TS02/TS06/TS09 User Manual)

Ta program se nahaja v meniju instrumenta pod '*Program|COGO|Odmik od ravnine*'. Operaterju omogoča določitev odmika za merjene točke glede na referenčno ravnino. Uporabljamo ga lahko za naloge, kjer potrebujemo podatek o pravokotnem odkliku poljubne točke od ravnine, za izračun pravokotnih razdalj presečiščne točke do osi X in Z, ter pregledovanje, shranjevanje in zakoličbo koordinat presečiščne točke. Referenčno ravnino najprej določimo s tremi točkami v lokalnem koordinatnem sistemu, kjer prva točka P1 podaja izhodišče lokalnega koordinatnega sistema, druga točka P2 podaja usmerjenost osi Z glede na izhodišče in tretja točka P3 določa ravnino, kot prikazuje Slika 7 (Geoservis, 2009).

Izračun oddaljenosti točke od ravnine temelji na naslednjih enačbah analitične geometrije:

- Ravnina je v prostoru enolično določena s točko $T_0(x_0, y_0, z_0)$ in pravokotnim vektorjem $\vec{n}(a, b, c)$, ki ga imenujemo normala. Če označimo z \vec{r}_0 krajevni vektor

točke T_0 in \vec{r} krajevni vektor poljubne točke $T(x, y, z)$ na premici, vektorsko in implicitno obliko enačbe ravnine v prostoru zapišemo:

$$(\vec{r} - \vec{r}_0) * \vec{n} = 0 \quad (12)$$

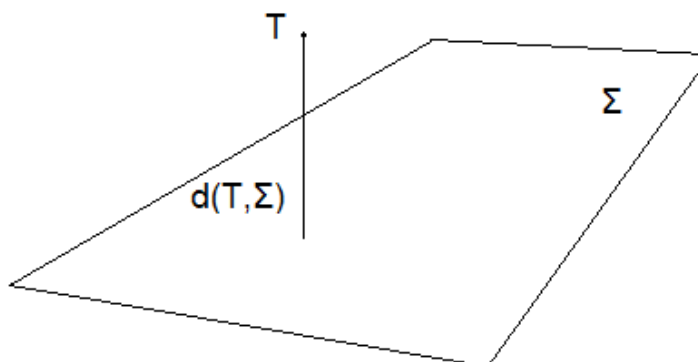
in

$$ax + by + cz = d, \quad (13)$$

kjer je

$$d = ax_0 + by_0 + cz_0 \quad (14)$$

- Razdalja med točko in ravnino (Slika 8):



Slika 8: Razdalja med točko in ravnino

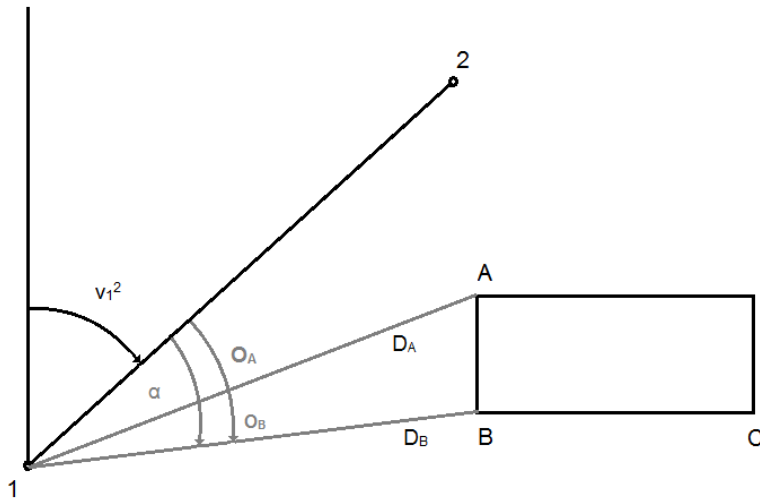
Ravnina Σ je definirana s točko T_0 in normalo \vec{n} na njo. Vektor \vec{r}_0 predstavlja krajevni vektor točke T_0 in \vec{r} krajevni vektor točke T . Razdalja med točko T in ravnino Σ je tako podana z izrazom (Škapin Rugelj, 2011):

$$d(T, \Sigma) = \frac{|(\vec{r} - \vec{r}_0) * \vec{n}|}{\|\vec{n}\|} \quad (15)$$

2.4 Polarna metoda izmere

Pri projektih geodezije v inženirstvu se pri praktičnem delu uporabljajo različne metode izmer in zakoličb, kot so ortogonalna metoda, polarna metoda, zunanji urezi ipd. Pri tem diplomskem delu smo uporabljali polarno metodo izmere, s katero določimo koordinate

detajlnih točk na osnovi neposredno izmerjenih relativnih prostorskih polarnih koordinat detajlnih točk. Izhodišče koordinatnega sistema je določeno s stojiščem instrumenta, ki je orientirano na eno ali več orientacijskih točk s poznanim položajem. Položaj merjene detajlne točke se tako določi na podlagi naslednjih merjenih količin: horizontalni kot, zenitna razdalja in poševna dolžina do točke (Kogoj et al., 2006).



Slika 9: Skica izmere po polarni metodi

Položaj točk se pri polarni izmeri na podlagi Slike 9 izračuna po naslednjih enačbah:

- Najprej izračunamo smerni kot med danima točkama:

$$\tan v_1^2 = \frac{\Delta y_1^2}{\Delta x_1^2} \quad (16)$$

- Nato izračunamo horizontalna kota α in β

$$\alpha = o_a - o_2, \beta = o_b - o_2 \quad (17)$$

- Izračunamo smerna kota v_1^A, v_1^B

$$v_1^A = v_1^2 + \alpha, v_1^B = v_1^2 + \beta \quad (18)$$

- Izračunamo koordinatne razlike med točko 1 in detajlno točko A

$$\Delta x_1^A = D_A * \cos v_1^A, \quad (19)$$

$$\Delta y_1^A = D_A * \sin \nu_1^A , \quad (20)$$

- Koordinatne razlike prištejemo koordinatam stojiščne točke

$$x_A = x_1 + \Delta x_1^A , \quad (21)$$

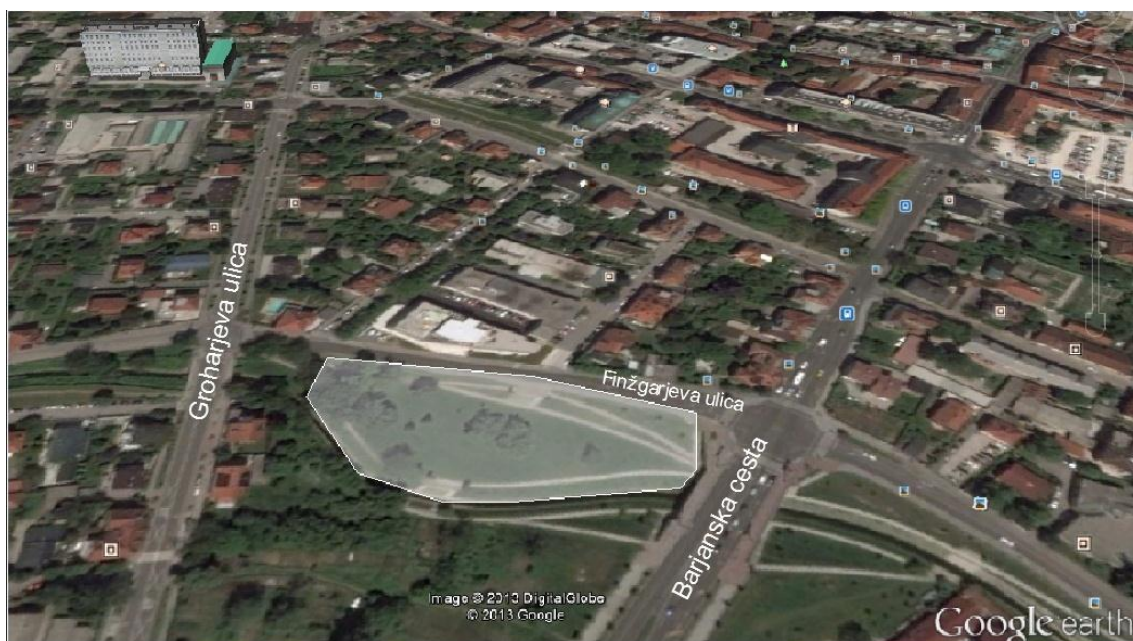
$$y_A = y_1 + \Delta y_1^A . \quad (22)$$

3 REZULTATI IN ANALIZA MERITEV

Na dveh območjih izmere smo izvedli praktične preizkuse zgoraj omenjenih programov, ki jih omogoča tahimeter Leica TS06 FlexLine. V nadaljevanju so poleg neposrednih rezultatov meritev predstavljeni tudi rezultati izračuna količin, ki smo jih kasneje izračunali na osnovi neodvisno merjenih količin.

3.1. Območje izmere

Izmera je potekala na dveh območjih, in sicer v parku ob reki Gradaščici v bližini trnovske cerkve (Slika 10) ter v okolici UL FGG, Jamova cesta 2. Na prvem območju smo praktično preverili delovanje programov *Referenčna linija*, *Nedostopna točka* ter *Površina in volumen*. Na drugem delovišču pa smo za določitev odmika nadstreška od stavbe fakultete preverili delovanje programa *Odmik* (COGO).



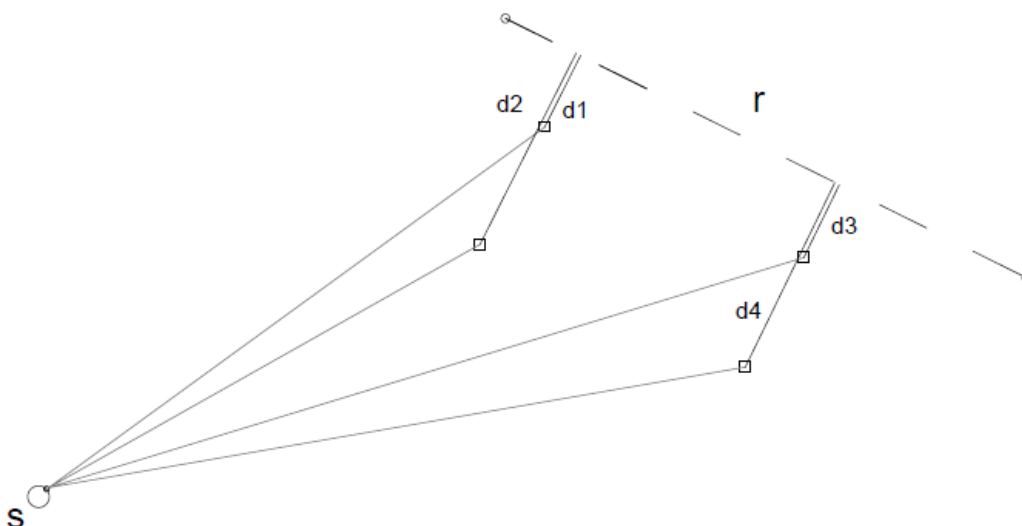
Slika 10: Območje meritev (Google Earth)

3.2 Rezultati izmere

V nadaljevanju so glede na uporabljen program predstavljeni posamezni rezultati izmere iskanih količin, kakor tudi sam postopek izmere in primerjava dobljenih rezultatov z izračunanimi vrednostmi.

3.2.1 Odmik od referenčne linije

Pri merjenju odmikov od referenčne linije smo meritve opravili na preprostem objektu, katerega vogalne točke je zakoličil Žan Gojčič v okviru svoje diplomske naloge (Gojčič, 2013). Bazno in referenčno linijo sta definirali vogalni točki obstoječega objekta na testnem območju. Da bi se izognili morebitnim napakam, smo bazno linijo določili z izmero vogalov obstoječega objekta in ne z uporabo danih koordinat, ki so bile uporabljene za projektiranje novega objekta. V prvem delu smo z uporabo programa *Referenčna linija* določili prečne odmik posameznega vogala zakoličenega objekta od referenčne linije. Program temelji na meritvah horizontalnih kotov in zenitnih razdalj ter poševne dolžine do zakoličenih točk. V drugem delu pa smo z neodvisnimi meritvami določili koordinate vogalnim točkam zakoličenega objekta, kar nam je omogočalo izračunati odmike točk od referenčne linije neodvisno od programa. Izračuni so potekali na podlagi enačbe 3, ki je predstavljena v poglavju 2.3.1. Rezultati so zbrani v Preglednici 2.



Slika 11: Meritve odmikov od referenčne linije

Preglednica 2: Rezultati izmere in izračuna odmikov od referenčne linije

Točka	Izmerjen odmik	Projektiran odmik	Izračunan odmik	Odstopanje (mer.-proj.)	Odstopanje(mer.-izrač.)
1	0.298 m	0,300 m	0.299 m	- 2 mm	- 1 mm
2	4.599 m	4,600 m	4.599 m	- 1 mm	0mm
3	4.601 m	4,600 m	4.596 m	+ 1 mm	- 5mm
4	0.297 m	0,300 m	0.299 m	- 3 mm	- 2mm

S programom smo določili pravokotno oddaljenost vogalnih točk objekta od referenčne linije. Program je lahko zelo uporaben v povezavi s katastrsko izmero, saj lahko z njim preprosto ugotovimo oddaljenost objekta od linije, ki jo lahko predstavlja katastrska meja med

parcelama. Poleg odmikov od linije lahko uporabljamo ta programi za namene zakoličbe. Izmerjene odmike, ki so na Sliki 11 prikazani z d_1 , d_2 , d_3 in d_4 smo primerjali s projektiranimi odmiki od referenčne linije (podanimi odmiki) in izračunanimi odmiki in ugotovili, da so odstopanja od 1 mm do 5 mm.

3.2.2 Določitev višine nedostopne točke

S pomočjo tega programa smo izmerili višino nedostopne točke med dnom struge reke Gradaščice in spodnjim robom mostu, ki jo prečka. Instrument smo najprej postavili na primerno mesto. Pazili smo, da je bila vizura prosta in čimbolj pravokotna glede na lego mostu. Postopek meritev je potekal tako, da smo najprej izmerili poševno razdaljo in zenitno razdaljo proti prizmi, ki je bila na teleskopskem nastavku na višini 115 cm (postavljena na dno rečne struge). Nato smo izmerili zenitno razdaljo do nedostopne točke (točke na spodnjem robu betonske konstrukcije mostu). Instrument je na podlagi meritev ter znane višine reflektorja izračunal višinsko razliko med spodnjo merjeno točko nadno rečne struge in med spodnjim robom betonske konstrukcije mostu. Nato smo neodvisno od programa opravili še meritve zenitnih razdalj z_1 (prizma) in z_2 (spodnji rob mostu) ter poševne dolžine s_1 (Slika 11). Na osnovi merjenih količin smo nato izračunali nedostopno višino (Preglednica 3). Princip meritev za izračun nedostopne višine je shematično prikazan na Sliki 12. V praksi bi lahko ta program uporabili v povezavi z drugimi vedami, kot sta hidrologija – meritev višine za določitev pretoka neke reke, ali gradbeništvo – meritev višine viadukta ali kakšnega drugega premostitvenega objekta.



Slika 12: Meritve nedostopne višine

Preglednica 3: Izmerjene vrednosti za izračun nedostopne višine

Meritev	Vrednost
z_1	98°35'15.4"
z_2	84°59'27.7"
s_1	20.266 m
h_r	1.15 m

Preglednica 4: Rezultati izmere in izračuna nedostopne višine

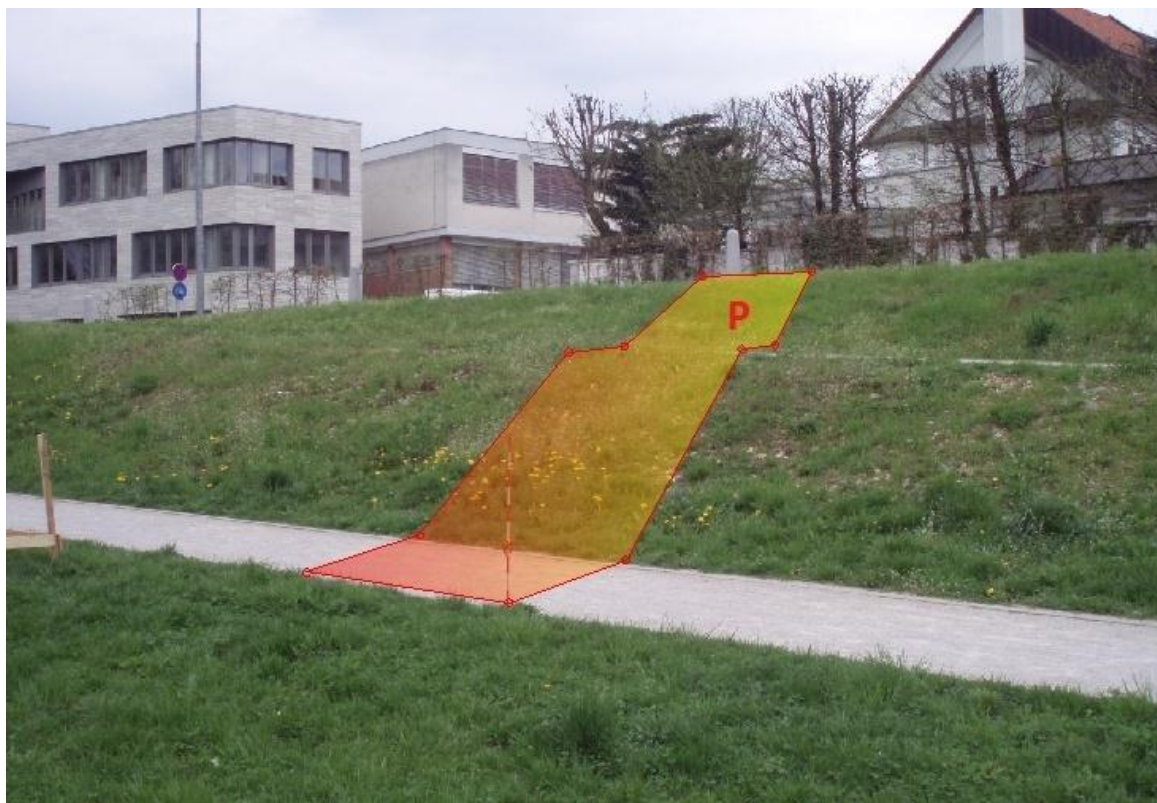
	Dobljena (instrument)	Izračunana	Odstopanje
dH	5.9311 m	5.9324 m	1.3 mm

Iz Preglednice 4 vidimo, da znaša razlika med višino nedostopne točke, ki je določena s programom in izračunano iz merjenih količin 1.3 mm relativno majhno. Razlika lahko nastane zaradi tega, ker so bile meritve, na podlagi katerih smo izračunali nedostopno višino, merjeno neodvisno. Največji vpliv na razliko ima verjetno dejstvo, da točka spodnjega roba mostu ni bila signalizirana. Pri uporabi programa *Nedostopna višina* je zelo pomembno, da postavimo prizmo neposredno pod objekt, katerega višino ugotavljamo, saj lahko drugače dobimo napačne rezultate. Do teh lahko pride zaradi napačno izmerjene poševne razdalje s_1 in merjene zenitne razdalje z_1 , na podlagi katere se izračuna višina nedostopne točke (enačbe 4-7).

3.3.3 Površina

Program površina smo uporabili v dveh primerih – in sicer na razgibanem delu terena, kjer so lome predstavljale poti in brežine, ter v primeru enostavnega pravokotnega objekta, ki ga je v okviru svoje diplomske naloge zakoličil Žan Gojčič (Gojčič, 2013). Instrument smo v obeh primerih postavili tako, da je bila vizura do vseh merjenih točk prosta, ga horizontalirali in opravil meritve do vogalnih točk merjenega območjav smeri urinega kazalca (glej poglavje 2.3.3). V prvem primeru smo posneli 10 točk, ki smo jih signalizirali z mini prizmo. Posnete detaljne točke so predstavljale lomne točke med potmi in brežinami, na osnovi katerih smo dobili 2D in 3D površini. V drugem primeru pa smo posneli 4 točke, ki so predstavljale vogale objekta, ki so bili posneti s prostega stojišča, katerega koordinate so bile določene z dobro razporeditvijo danih točk geodetske mreže. Površina objekta je bila določena samo v 2D, saj so bile zakoličene točke na skoraj isti višini. Za neodvisen izračun in primerjavo rezultatov smo določili koordinate robnim točkam, ki so zapirale poligon, katerega površino smo

določali. V primeru nagnjene površine, ki je predstavljena na Sliki 13, so bile te koordinate definirane v lokalnem koordinatnem sistemu, pri zakoličenem objektu pa so se koordinate nanašale na državni koordinatni sistem (Preglednici 5 in 6).



Slika 13: Območje meritev površine

Preglednica 5: Seznam lokalnih koordinat lomnih točk in stojišča za izračun površine

Točka	X	Y	H
S	100	100	100
1	90.2520	99.9029	98.9245
2	90.3372	101.7627	98.9634
3	90.5206	106.9674	100.6318
4	90.6098	108.9752	100.6741
5	90.6670	113.2795	102.0788
6	93.5577	113.7186	102.1341
7	93.5944	108.6438	100.4932
8	93.5062	106.6366	100.4414
9	93.3425	101.6465	98.8802
10	93.2571	99.7891	98.8469

Preglednica 6: Seznam projektiranih koordinat detajlnih točk zakoličenega objekta

Točka	e	n
1	461516.8038	100584.7049
2	461521.0963	100584.9578
3	461517.2415	100577.2415
4	461521.5311	100577.6056

Preglednica 7: Rezultati izmere in izračuna površin

	Površina 2D	Površina 3D	Izračunana površina	Odstopnja v površini
10 točk	40.966m ²	41.832m ²	40.700m ²	0.266 m ²
4 točke (objekt)	31.428m ²	31.428m ²	31.652 m ²	0.224 m ²

Z uporabo programa *Površina in volumen* smo lahko določili površino objekta neposredno na terenu. Program smo preizkusili na dveh različnih primerih z različnima številoma točk, ki so sestavljale poligon, katerega površino smo računali. Na podlagi treh predhodno posnetih točk, ki so definirale izhodiščno ravnino, smo dobili rezultate v 2D in 3D prostoru. Rezultate smo nato primerjali še z izračunanimi iz koordinat, ter dobili odstopanja med njimi. Tako so se pri primerjavi izmerjene 2D površine in površine izračunane iz koordinat točk gibale v velikostnem redu 0.2 – 0.3 m² (Preglednica 7).

3.3.4 Odmik od ravnine (COGO)

Pri uporabi programa *Odmik od ravnine* smo meritve opravljali na delovišču v neposredni okolici Fakultete za gradbeništvo in geodezijo Univerze v Ljubljani. V prvem koraku smo instrument postavili na primerno mesto, ki nam je zagotavljalo prost pogled na stavbo fakultete, nato smo instrument horizontalirali in pričeli z meritvami. Z namenom določitve ravnine Σ smo najprej definirali 3 točke $T1$, $T2$ in $T3$ na fasadi stavbe, kot je prikazano na Sliki 14. Posneli smo še točko P na zunanjem robu nadstreška in dobili njeno oddaljenost od predhodno določene ravnine Σ . V drugem delu smo v lokalnem koordinatnem sistemu določili koordinate vsem 4 merjenim točkam (Preglednica 8). Na osnovi enačbe 15 smo izračunali oddaljenost točke P od ravnine Σ .



Slika 14: Meritve odmika točke od ravnine

Preglednica 8: Seznam koordinat točk za izračun odmika od ravnine

Točka	Y	X	H
T1	111.4331	85.5196	106.2644
T2	111.4474	85.5027	113.9652
T3	90.8898	70.8633	110.3985
P	102.0441	85.0323	104.0625

Preglednica 9: Rezultati izmere in izračuna odmika od ravnine

Odmik od ravnine	Dobljen (instrument)	Izračunan	Odstopanje
d	5,0462m	5.0462 m	0.0 mm

Točki $T1$ in $T2$ predstavljata izhodišče ravnine Σ in usmerjenost Z -osi, tretja točka $T3$ pa je definirala ravnino (glej poglavje 2.3.4). Na osnovi izmere točke P na zunanjem delu nadstreška nad stopniščem vhoda v fakulteto, je instrument s programom izračunal pravokotno oddaljenost te točke od definirane ravnine. Na osnovi merjenih količin, smo vsem točkam določili tudi koordinate v lokalnem koordinatnem sistemu. Nato smo z uporabo lokalnih koordinat točk še računsko določili ravnino in oddaljenost točke P od ravnine. Kot je razvidno iz Preglednice 9, se izmerjena in izračunana vrednost popolno ujemata.

4 ZAKLJUČEK

V diplomski nalogi sem opisal uporabo dela programske opreme sodobnega tahimetra Leica TS06 FlexLine na nekaterih praktičnih primerih. Z razvojem tehnologije in avtomatizacije so se tahimetri razvili v nepogrešljiv pripomoček za opravljanje geodetskih del. Tahimeter, ki smo ga preizkusili v tej diplomski nalogi, v kombinaciji s svojo programsko opremo omogoča izračun določenih količin na samem terenu. To lahko predstavlja veliko prednost geodetu, saj lahko v zelo kratkem času določi ali preveri npr. višino nedostopne točke, površino nekega območja ali odmike od določenih linij ali površin. Za uporabo v inženirski geodeziji so zanimivi tudi programi 2D in 3D cesta itd. Vsi ti programi omogočajo hitro in enostavno uporabo tako v geodeziji v inženirstvu kot v drugih vejah geodezije, kot je denimo katastrska izmera. Ti programi lahko služijo kot samostojni elementi za izvedbo nekega geodetskega dela, ali pa kot kontrola za nekatere meritve – primer: po zakoličbi vogalnih točk nekega objekta lahko preverimo z odmiki ustrezno oddaljenost od parcelne meje ali drugih objektov, površino zakoličenega objekta ali dela parcele itd. Programe smo praktično preizkusili in dobljene rezultate primerjali z izračunanimi, ki so bili izvedeni na podlagi neodvisnih meritev.

Uporaba takšnih programov se nam zdi zelo priročna, saj vsakemu geodetu, ki na terenu uporablja takšen instrument omogoča, da lahko poleg ustaljenih merskih tehnik in postopkov, v praksi hitro izmeri in določi druge, zahtevnejše količine, katere bi v preteklosti morali preračunati v pisarni. S tem je lahko njegovo delo bolj fleksibilno oz. prilagodljivo, tudi hitrejše in mu omogoča opravljanje večjega števila različnih del. Z nadaljnjim razvojem tehnologije in izboljšavo obstoječih merskih sistemov bodo v prihodnosti elektronski tahimetri omogočali še več uporabnih aplikacij, kar bo še dodatno olajšalo delo geodetov v prihodnosti in jim omogočalo hitrejše in učinkovitejše izvajanje geodetskih storitev.

VIRI

Berdajs, A., Uibl, M. 2010. Inženirska geodezija. Ljubljana, Zavod IRC: 97 str.

Breznikar, A., Koler, B. 2009. Inženirska geodezija. Ljubljana, Inženirska zbornica Slovenije: 68 str.

Gojčič, Ž. 2013. Primerjava zakoličevanja točk z različnimi metodami. Diplomaska naloga. Ljubljana, Univerza v Ljubljani, Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo (samozaložba Ž. Gojčič): 34 str.

Geoservis. 2009. LeicaFlexLine Uporabniška navodila. Geoservis: 58 str.

Kogoj, D. 2012. Od elektronskih tahimetrov do TPS – multimedijaska predstavitev. UL FGG. Ljubljana.

http://ucilnica1112.fgg.uni-lj.si/file.php/220/05_-Elektronski_tahimetri_-_PKG1_11-12.pdf

(Pridobljeno 11. 6. 2013.)

Kogoj, D., Ambrožič, T., Savšek, S., Marjetič, A., Stopar, B. in drugi 2006. Navodila za izvajanje klasične geodetske izmere v novem državnem koordinatnem sistemu. Ljubljana, Univerza v Ljubljani, Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo: 14 str.

LeicaGeosystems. 2008. LeicaFlexLine TS02/TS06/TS09.User Manual. Heerbrugg, LeicaGeosystems AG: 300 str.

LeicaGeosystems. 2009. LeicaFlexLine TS06 Totalstation. Heerbrugg, LeicaGeosystems AG,

http://www.leica-geosystems.com/downloads123/zz/tps/FlexLine%20TS06/brochures-datasheet/FlexLine_TS06_Datasheet_en.pdf (Pridobljeno 10. 6. 2013.)

Škapin Rugelj, M. 2011. Vaje iz matematike I – analitična geometrija - zapiski pri predmetu Matematika I. Ljubljana, Univerza v Ljubljani, Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo: 2 str.

Vidav, I. 1987. Višja matematika I. Ljubljana, Društvo matematikov, fizikov in astronomov: 480 str.