

# TESTIRANJE VIŠJIH STOPENJ AVTOMATIZACIJE ELEKTRONSKIH TAHIMETROV

TESTING HIGHER LEVELS OF TOTAL STATIONS AUTOMATION

*Marko Matajija Valh, Aleš Marjetič, Vesna Ježovnik, Dušan Kogoj*

UDK: 528.53

## POVZETEK

*Avtomatski elektronski tahimetri so trenutno najvišja razvojna stopnja klasičnih geodetskih instrumentov. Vgrajena sodobna tehnologija bistveno poenostavi delo operaterja za instrumentom, včasih je mogoče izvajati meritve tudi brez njegove prisotnosti, saj je delovanje tahimetra popolnoma avtomatizirano. Prispevek opisuje preizkus praktične natančnosti, učinkovitosti in robustnosti sistemov z višjimi stopnjami avtomatizacije elektronskih tahimetrov. Opisani testni primeri so izbrani tako, da simulirajo situacije na terenu in omogočajo objektivno presojo učinkovitosti sistemov.*

## KLJUČNE BESEDE

*tahimeter, avtomatsko prepoznavanje tarče, avtomatsko viziranje tarče, avtomatsko sledenje tarče, avtomatsko iskanje tarče*

Klasifikacija prispevka po COBISS-u: 1.02

## ABSTRACT

*Automatic total stations are the most developed classical surveying instruments at the moment. Automatic total stations can significantly simplify the work of an operator. In some cases measurements can even be carried out without the presence of an operator, as the total station is completely automated. The paper describes different tests for the determination of accuracy in use, efficiency and robustness of the total stations systems with higher levels of automation. The chosen test procedures simulate the situation on the field and facilitate an objective assessment of systems efficiency.*

## KEY WORDS

*total station, automatic target recognition, automatic tracking, automatic target searching*

## 1 UVOD

Prispevek *Avtomatski elektronski tahimetri ali kam vodi razvoj TPS-sistemov*, ki je bil septembra 2008 objavljen v št. 52/3 Geodetskega vestnika (Valh et al., 2008), opisuje motive in tehnične podlage za razvoj višjih stopenj avtomatizacije elektronskih tahimetrov ter splošne značilnosti avtomatskih sistemov sodobnih elektronskih tahimetrov. Pričujoči prispevek je njegovo nadaljevanje. S praktičnim preizkusom izbranega avtomatskega elektronskega tahimetra smo hoteli ugotoviti, kako se sistemi avtomatskega viziranja tarče – AVT, avtomatskega sledenja tarče – AST in avtomatskega iskanja tarče – AIT obnašajo v praksi ter kakšne so njihove dejanske prednosti oziroma slabosti. Zanimalo nas je tudi, ali so tovarniške specifikacije vgrajenih avtomatskih sistemov, ki jih proizvajalci navajajo v tehničnih podatkih, realne.

Odgovori na ta vprašanja temeljijo na praktičnem preizkusu posameznih sistemov avtomatizacije in njihovih kombinacij. V ta namen smo opredelili izvedbo specifičnih geodetskih nalog. Vse naloge smo izvedli dvakrat: prvič klasično z operaterjem, drugič pa z izbranim avtomatskim sistemom. Parametri za ovrednotenje praktične uporabnosti avtomatskega elektronskega tahimetra so bili predvsem natančnost, časovni prihranek, praktičnost in robustnost sistema, ki je potrebna za izvedbo posameznega merskega postopka.

## 2 IZBIRA TESTNEGA INSTRUMENTA

Praktični preizkus tehnologij AVT, AST in AIT smo izvedli z avtomatskim elektronskim tahimetrom *Leica Geosystems AG TCRP1201 R300 (Nr.216821)*, ki je v lasti *Fakultete za gradbeništvo in geodezijo*. Izbrani instrument je predzadnja generacija elektronskih tahimetrov serije *Leica TPS1200* in je najbolj natančen tahimeter iz te serije. Vgrajene ima vse tri sisteme višje stopnje avtomatizacije: *ATR (Automatic Target Recognition)* – sistem za avtomatsko viziranje tarče, *Lock* – sistem za avtomatsko sledenje tarči in *PS (PowerSearch)* – sistem za avtomatsko iskanje tarče s tehnologijo pasivnih prizem (Valh et al., 2008). Žal pa med dodatno opremo ni bilo kontrolne enote za daljinsko vodenje, ki je nujna za samostojno delo ene osebe na terenu. Med praktičnim preizkusom smo simulacijo daljinskega vodenja s kontrolno enoto izvedli z operaterjem na instrumentu. Operater je na ciljno točko posredoval potrebne informacije in sprožal ukaze za izvajanje postopkov *Lock* in *PowerSearch*, ki bi jih sicer sprožal vodja izmere s kontrolno enoto prek radijske povezave neposredno s ciljne točke. Med izvajanjem avtomatiziranih postopkov, tudi ob morebitnih napakah oziroma izgubi signala sistema *Lock*, operater ni posredoval, ampak je to nalogo prepustil vodji izmere kot edini osebi na terenu.

V preglednici 1 povzemamo najpomembnejše tehnične podatke izbranega instrumenta, ki so pomembni za razumevanje postopkov preizkusa in pridobljenih rezultatov (Valh et al., 2008).

<b>Teodolit</b>	
Način čitanja na krogih	absolutna statična metoda
<b>AVT (ATR - Automatic Target Recognition)</b>	
Doseg	1,5 m-1000 m (GPR1)
Natančnost	< 2 mm
<b>AST (Lock)</b>	
Doseg	5 m-800 m (GPR1)
Največja hitrost sledenja	5 m/s pri 20 m, 25 m/s pri 100 m
<b>AIT (Power Search)</b>	
Vrsta tarče	pasivna
Čas iskanja tarče	< 10 sek
<b>Natančnost- ISO 17123-3 : <math>\sigma_{SO-THEO}</math></b>	<b>1"</b>
<b>Razdaljemer</b>	
Način merjenja	fazni postopek
Nosilno valovanje	0,780 $\mu$ m
Merska frekvenca	100 MHz/1,5 m
Doseg (srednja vidljivost)	3 km/1 prizma, 4,5 km/3 prizme
<b>Natančnost (ISO 17123-4): <math>\sigma</math> : a [mm]; b [ppm]</b>	<b>2 mm; 2 ppm</b>

**Preglednica 1:** Osnovni tehnični podatki tahimetra Leica Geosystems AG TCRP1201R300

Signalizacija ciljnih točk je bila pri vseh postopkih izvedena s standardnimi reflektorji *Leica standard prism GPR1* z vizirnimi tarčami. Originalnega 360° reflektorja *Leica GZR4* nismo uporabljali, saj pri izvedenih postopkih njegove lastnosti ne bi prišle do izraza. Pri AST s sistemom *Lock* je bila zaradi uporabe standardnih reflektorjev potrebna večja pozornost za zagotavljanje ustrezne orientacije reflektorja proti tahimetru.

### 3 POSTOPKI PRAKTIČNEGA PREIZKUSA IN OVREDNOTENJE UPORABNOSTI SISTEMOV

Za celovit preizkus avtomatskih sistemov tahimetra smo izvedli pet ločenih praktičnih testov:

- natančnost in hitrost sistema ATR pri *girusni metodi izmere* po standardu ISO 17123-3,
- učinkovitost sistema ATR v polarni detajlni izmeri,
- smiselnost uporabe sistema *Lock* v detajlni izmeri, ki jo izvede ena oseba,
- robustnost algoritma za ekstrapolacijo trajektorije tarče med prekinitvami vidnosti med tarčo in tahimetrom,
- učinkovitost sistema *PowerSearch*.

Postopki izbranih praktičnih preizkusov niso zahtevali veliko teoretičnih podlag, ampak predvsem praktične izkušnje.

#### 3.1 Določitev natančnosti teodolita tahimetra *Leica Geosystems AG TCRP1201 R300 (Nr.216821)* po standardu ISO 17123-3 ročno in z uporabo sistema ATR

Vsi tahimeri serije *Leica TPS1200* imajo možnost namestitve uporabniške aplikacije za izvedbo girusne metode izmere, ki se imenuje *Sets of Angles*. Aplikacija omogoča pregledno in vodeno izmero poljubnega števila girusov in poljubnega števila točk v girusu ne glede na to, ali je tahimeter motoriziran in ima vgrajen sistem ATR ali ne. Pri uporabi sistema ATR je po ročni identifikaciji točk pri merjenju prvega polgirusa in nastavitvi števila girusov postopek popolnoma avtomatiziran.

##### 3.1.1 Meritve

Za določitev natančnosti merjenja horizontalnih smeri po standardu ISO 17123-3 s popolnim preizkusom (*Full test procedure*) (ISO 2001) je treba izvesti meritve horizontalnih smeri do petih točk, ki so od stojišča oddaljene od 100 m do 250 m in so stabilizirane na približno isti horizontalni ravnini kot tahimeter. Uporabljena je bila začasna stabilizacija točk s stativi z originalnimi podnožji *Leica*.

Popolni preizkus zahteva štiri serije meritev po tri girusa. Izmera je bila izvedena dvakrat in neodvisno, ob enaki postavitvi testne baze z uporabo sistema ATR in brez nje.

##### 3.1.2 Rezultati in ugotovitve

Največja prednost motoriziranega tahimetra z vgrajeno tehnologijo ATR je izvajanje samostojnih meritev, ki imajo periodični značaj. Girusna metoda izmere horizontalnih smeri ter obenem zenitnih razdalj in poševnih dolžin z uporabo sistema ATR in programske aplikacije *Sets of*

*Angles* poteka približno dvakrat hitreje kot klasična izmera. Povprečni čas izmere ene serije na klasičen način je znašal devet minut, pri uporabi ATR, vključno s ponovitvijo identifikacije ciljnih točk v prvem polgirusu vsake serije, pa se je skrajšal na povprečno pet minut na serijo.

Pomembno je tudi, da je izmera ATR popolnoma avtomatizirana. Operater, ki bi nadziral meritev, je po opravljeni identifikaciji točk v normalnih razmerah med izvajanjem meritev nepotreben. S specializirano programsko opremo lahko tahimeter z vgrajenim sistemom ATR izvaja periodične meritve brez prisotnosti operaterja. Možnosti uporabe tahimetra se tako zelo povečajo, pri čemer lahko navedemo številne primere (Marjetič et al. 2006).

Standard ISO 17123-3 natančno predpisuje postopek obdelave merskih vrednosti. Najprej ločeno obravnavamo meritve v okviru serije. Z združitvijo vseh serij izračunamo iskano vrednost  $s_{\text{ISO-THEO-HZ}}$  – **empirični standardni odklon opazovanih horizontalnih smeri v enem girusu v obeh krožnih legah.**

Serija	empirični standardni odklon $s$ [ " ]	
	klasična izmera	ATR-izmera
1.	0,9	0,0
2.	0,9	1,5
3.	1,3	3,0
4.	1,9	1,4
$s_{\text{ISO-THEO-HZ}}$	1,3	1,8

**Preglednica 2:**  $s_{\text{ISO-THEO-HZ}}$  – empirični standardni odklon horizontalne smeri po standardu ISO 17123

S statističnim testom interpretiramo rezultate popolnega preizkusa in dobimo odgovora na naslednji vprašanji:

- Ali je izračunan empirični standardni odklon  $s$  manjši, kot ga je predpisal proizvajalec ( $s_{\text{ISO-THEO-HZ}} = 1''$ )?  
Tako pri ATR kot pri klasični izmeri ne moremo s 95-odstotno verjetnostjo trditi, da je empirični standardni odklon manjši ali enak, kot ga je predpisal proizvajalec.
- Ali dva empirična standardna odklona, ki sta izračunana iz dveh različnih vzorcev meritev, pripadata isti populaciji oziroma sta statistično enaka – ob domnevi, da imata oba vzorca enako število prostostnih stopenj? Izkaže se, da ničelne hipoteze ne moremo zavrniti, kar pomeni, da sta empirična standardna odklona obeh izmer ob 95-odstotni stopnji zaupanja statistično enaka.

Iz preglednice 2 je razvidno, da so natančnosti posameznih serij pri klasični izmeri veliko bolj homogene kot pri izmeri ATR, kar lahko nakazuje na boljšo kakovost opazovanih smeri pri klasičnem viziranju na tarčo. Vrednosti standardnih odklonov izmere ATR so presenetljivo različne, kar bi se pri ročnem viziranju težko zgodilo, izjema bi bila prisotnost grobih pogreškov v opazovanjih.

### 3.2 Preizkus sistema ATR v polarni detajlni izmeri

Polarna detajlna izmera je najhitrejše zajemanje relativnih polarnih prostorskih koordinat detajlnih točk, če imamo seveda v mislih klasične geodetske postopke detajlne izmere. Koliko časa prihrani ekipa na terenu, če namesto operaterja fino viziranje detajlnih točk opravi sistem ATR? Proizvajalec zagotavlja nominalno natančnost viziranja z ATR, ki je za potrebe detajlne izmere popolnoma zadovoljiva. Je to res?

#### 3.2.1 Meritve

Pri meritvah smo uporabili že za predhodni test določitve natančnosti teodolita stabilizirano testno polje. Izbranih je torej pet detajlnih točk, ki so od centrično postavljenega instrumenta oddaljene od 100 do 250 m. Neodvisno sta bili izvedeni dve izmeri, in sicer klasična in avtomatizirana, kjer operater ročno grobo navizira ciljno točko, fino viziranje pa opravi sistem ATR. Vsako izmero smo zaradi kontrole meritev oziroma eliminacije grobih pogreškov izvedli dvakrat. Merili smo tudi trajanje klasične in avtomatizirane detajlne izmere, ki bo glavno merilo ovrednotenja meritev.

#### 3.2.2 Rezultati in ugotovitve

Prvo primerjalno merilo je čas, potreben za izvedbo posamezne ponovitve izmer do istih točk. Rezultati, podani v preglednici 3, so lahko le groba orientacija. Z uporabo sistema ATR smo prihranili približno 30 % časa, kar je veliko. Za objektivnejšo primerjavo časov posamezne ponovitve bi bilo treba meriti veliko več detajlnih točk. Prepričani smo, da bi se resnična prednost uporabe sistema ATR pokazala ob velikem številu detajlnih točk. Servomotorji in drugi moduli ATR stalno delujejo z enako hitrostjo, operater pa težko ohrani koncentracijo pri obsežnejši izmeri.

<i>Polarna detajlna izmera</i>	<i>klasična</i>	<i>ATR</i>
<i>1. ponovitev</i>	2 min 10 s	1 min 20 s
<i>2. ponovitev</i>	2 min 5 s	1 min 40 s

**Preglednica 3:** Primerjave časov za izvedbo ponovitve klasične in avtomatizirane polarne detajlne izmere

Druge merilo za primerjavo izmer so vrednosti ravninskih koordinat izmerjenih točk v posameznih ponovitvah. Referenčni položaji točk so bili določeni na podlagi opazovanj, opisanih v odstavku 3.1.

Meritve, izvedene v merskem prostoru, smo preračunali v koordinatni prostor, kjer smo domnevali, da so koordinate stojišča znane in absolutno točne, orientacijska smer pa ena sama in je obenem os  $X$  lokalnega koordinatnega sistema. Orientacijsko točko smo po orientaciji obravnavali kot detajlno točko. S tem smo izločili vpliv nenatančnosti danih količin na vrednost izračunanih koordinat. Izbira ciljnih točk, to je centrov odbojnih prizem reflektorjev, in njihova stabilizacija izločata tudi pogrešek signalizacije ciljnih točk in pogrešek določitve višine reflektorja.

Za vrednotenje, koliko natančno so določene koordinate detajlnih točk, uporabimo vrednosti odstopanj koordinat od referenčnih vrednosti. Vsako točko obravnavamo ločeno. Velikosti razlik primerjamo s teoretično natančnostjo določitve koordinate, izračunano na podlagi natančnosti instrumenta, pri čemer upoštevamo zakona o prenos varianc in kovarianc.

točka	klasična izmera			izmera ATR		
	1. pon	2. pon		1. pon	2. pon	
	[mm]			[mm]		
	odstopanje $f_y$		$\sigma_y$	odstopanje $f_y$		$\sigma_y$
G1	- 4	- 4	1,9	1	3	1,8
G2	- 8	- 8	2,3	0	2	2,1
G3	0	- 2	2,2	0	0	1,9
G4	- 2	- 5	2,2	- 3	- 2	2,2
G5	- 6	- 3	1,3	3	1	1,0
sredina	4,0	4,4	2,0	1,4	1,6	1,8
	odstopanje $f_x$		$\sigma_x$	odstopanje $f_x$		$\sigma_x$
G1	1	1	2,2	1	1	2,0
G2	3	1	2,3	- 1	- 3	2,0
G3	0	- 1	2,2	- 2	- 1	2,2
G4	- 4	0	2,1	3	2	1,7
G5	- 4	- 2	2,1	3	1	2,2
sredina	2,4	1,0	2,2	2,0	1,6	2,0
	odstopanje $f_H$		$\sigma_H$	odstopanje $f_H$		$\sigma_H$
G1	6	4	2,2	1	1	2,2
G2	7	6	2,3	2	2	2,3
G3	3	5	2,2	1	2	2,2
G4	1	2	2,1	0	- 1	2,1
G5	1	1	2,1	1	2	2,1
sredina	3,6	3,6	2,2	1,0	1,6	2,2

**Preglednica 4:** Odstopanja od referenčnih koordinat in ocenjeni standardni odkloni koordinat detajlnih točk

Srednje vrednosti odstopanj koordinat posamezne ponovitve so za klasično izmero v intervalu od 1,0 do 4,4 mm. Vrednosti so pričakovane, razpršenost je relativno velika. Srednje vrednosti odstopanj pri izmeri ATR se gibljejo v intervalu od 1,0 do 2,0 mm, kar je bistveno bolje. Tudi homogenost je veliko večja. Primerjava s teoretičnimi natančnostmi pokaže, da so odstopanja izmere ATR zanesljivo v mejah intervala teoretične natančnosti. Pri klasični izmeri pa pri 95-odstotni stopnji zaupanja lahko trdimo, da so razlike koordinat znotraj intervala natančnosti.

Na podlagi izračunanih odstopanj koordinat točk, merjenih z izmero ATR, ne moremo sklepati na prisotnost sistematičnih pogreškov. Ugotovimo lahko, da je sistem ATR v detajlni polarni izmeri uporabna in zanesljiva rešitev. Kakovost opazovanj je dobra, izmera poteka hitreje, obenem pa močno razbremeni operaterja.

### 3.3 Preizkus smiselnosti uporabe sistema *Lock* v detajlni izmeri, ki jo izvede ena oseba

Sistem *Lock* tahimetra *Leica TPS1201* deluje samo v kombinaciji z vgrajenim sistemom ATR. Njegov namen je dvojen: omogoča izvajanje dinamičnih meritev, uporablja pa se tudi kot osnovni modul metode izmere *Stop and Go*. V tem primeru naj bi se sistem *Lock* uporabljal v kombinaciji s sistemom za AIT, ki bi ob morebitni prekinitvi povezave vizurne osi s ciljno točko slednjo ponovno vzpostavil. Pravi sistem za AIT pri *Leici* je sistem *PowerSearch*, zasilna rešitev pa je lahko tudi sistem ATR. Če se od tarče odbiti signal ATR ne preslika na tipalo CCD, daljnogled namreč opisuje pot spiralaste oblike, ki se širi radialno iz centra daljnogleda. Takšna rešitev je nezanesljiva in zamudna. Pri preizkusu sistema *Lock* namerno nismo uporabili nobene izmed naštetih metod AIT, saj smo želeli preizkusiti samo delovanje avtomatskega sledenja.

#### 3.3.1 Meritve

Za preizkus smo uporabili novo testno polje osmih detajlnih točk na različnih oddaljenostih od stojišča. Med stojiščem in detajlnimi točkami ni bilo ovir, ki bi prekinile vidnost tarče in instrumenta. Neodvisno sta bili izvedeni klasična izmera in izmera *Lock*, to je izmera brez operaterja z uporabo sistema *Lock* in ATR po metodi *Stop and Go*. Obe smo zaradi kontrole meritev oziroma kontrole grobih pogreškov izvedli dvakrat. Merili smo tudi trajanje izmere.

#### 3.3.2 Rezultati in ugotovitve

Tarčo na detajlnih točkah smo pri obeh izmerah stabilizirali s togim grezilom, ki smo ga držali v roki. V tem primeru se lahko pojavi relativno velik slučajni pogrešek signaliziranja detajlne točke, zato je nesmiselno primerjati opazovanja oziroma koordinate merjenih detajlnih točk posameznih ponovitev klasične izmere in izmere *Lock*. Edino objektivno merilo za primerjavo je čas, potreben za izvedbo ene ponovitve klasične izmere in izmere *Lock*.

<i>Detajlna izmera</i>	<i>klasična</i>	<i>Lock</i>
<i>1. ponovitev</i>	5 min	7 min
<i>2. ponovitev</i>	4 min	8 min

**Preglednica 5:** Primerjava časov, potrebnih za izvedbo posamezne ponovitve klasične izmere in izmere *Lock*

Izkušen operater za tahimetrom je za izmero osmih detajlnih točk, ki jih je signaliziral figurant, potreboval povprečno 4,5 minute, pri tem figurant med potjo na naslednjo točko ni skrbel, da se ne bi prekinila vidnost med tarčo in instrumentom. Ko je izmero opravljala ena oseba s sistemom *Lock*, je trajala povprečno 7,5 minute. V vsaki ponovitvi meritev se je signal enkrat izgubil in je bilo treba posredovati na tahimetru.

Delo z metodo *Stop and Go* in uporabo sistema *Lock* bi bilo veliko bolj učinkovito v kombinaciji s sistemom za AIT, saj ta ponovno vzpostavi izgubo signala sistema za AST. Samo sistem *Lock* tako praktično še ne zagotavlja popolne avtomatizacije meritev elektronskega tahimetra, izločitev operaterja pa je zelo vprašljiva, saj je samostojno delo ene osebe preveč zahtevno in naporno.

Sistem *Lock* brez AIT je uporaben za manj obsežne detajlne izmere (nekaj deset točk), pri obsežnih izmerah na razgibanem območju pa samostojna uporaba sistema *Lock* brez AIT ali operaterja ni smiselna.

### 3.4 Preizkus algoritma za ekstrapolacijo trajektorije tarče ob prekinitvi vidnosti ciljne točke

Algoritem za ekstrapolacijo trajektorije tarče *Leica TPS1201* omogoča nadaljevanje meritev kljub prekinitvi vidnosti med tarčo in instrumentom za največ 5 s – takšno možnost nam ponuja sam tahimeter. Oseba, ki se premika s povprečno hitrostjo 5 km/h, prehodi v tem času razdaljo približno sedmih metrov.

Namen testa je bil preveriti, ali je sistem *Lock* dejansko sposoben slediti tarči, če pride do 5-sekundne prekinitve vidnosti, oziroma kako dolga prekinitve vidnosti med tarčo in tahimetrom še omogoča nadaljnje avtomatsko sledenje brez pomoči sistema AIT ali posredovanja operaterja. Zanimalo nas je tudi, kako oddaljenost do tarče vpliva na algoritem ekstrapolacije trajektorije.

#### 3.4.1 Meritve

Osnovna ideja je ugotavljanje robustnosti sistema ob prekinitvi vidnosti med tarčo in tahimetrom na različne oddaljenosti ob različnem trajanju prekinitve vidnosti. Ovire smo izbrali tako, da so simulirale tipične situacije na terenu. To so najpogostejše moteča drevesa, drogovci tehnične infrastrukture, stoječa ali premikajoča se vozila, manjše stavbe itd. Večje ovire, pri katerih so prekinitve vidnosti daljše, smo simulirali s fizičnim zakritjem reflektorja za določen časovni interval. Ovire so bile (slika 1):

- OVIRA 1: oseba – kratka prekinitve vidnosti (manjša od 1 s),
- OVIRA 2: osebni avtomobil – srednja prekinitve vidnosti (približno 3 s),
- OVIRA 3: fizično zakritje reflektorja za 4 s,
- OVIRA 4: fizično zakritje reflektorja za 5 s.



**Slika 1:** Grafični prikaz ovir in premikanja trajektorije tarče za ovirami

Tarčo smo nato premikali za oviro po trajektoriji, ki je bila pravokotna na spojnico instrumenta in ovire. Med zakritjem reflektorja se smer in hitrost gibanja nista spreminjala. Oddaljenost do



ciljne točke je bila najmanj 4 m in največ 120 m. Postopek smo za vsako oviro na vseh oddaljenostih izvedli trikrat. Tako smo povečali zanesljivost rezultatov.

### 3.4.2 Rezultati in ugotovitve

V preglednici 6 so prikazani rezultati preizkusa algoritma za ekstrapolacijo trajektorije tarče med prekinitvami vidnosti tarče in tahimetra. Zgornja meja trajanja prekinitve vidnosti je približno 4 sekunde. Pri prekinitvi vidnosti tarče in tahimetra za 5 sekund sistem *Lock* ni bil več sposoben nadaljevati sledenja. Pri krajših razdaljah med oviro in tahimetrom je bilo sledenje tarči s sistemom *Lock* prekinjeno že ob krajših prekinitvah vidnosti.

Oddaljenost do ciljne točke	4 m	7 m	10 m	30 m	50 m	80 m	120 m
OVIRA 1 - oseba	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
OVIRA 1 - osebni avtomobil	✗	✗	✗✓	✓	✓	✓	✓
OVIRA 3 - zakritje reflektorja 4 s	✗	✗	✗	✓	✓	✓	✓
OVIRA 4 - zakritje reflektorja 5 s	✗	✗	✗	✗	✗	✗	✗
	✓ ... nadaljevanje sledenja ••• ✗... prekinitve sledenja						

**Preglednica 6:** Rezultati preizkusa algoritma za ekstrapolacijo trajektorije tarče

Razlog za to ni samo pomanjkljivost algoritma za ekstrapolacijo trajektorije, ampak tudi tehnične mejne vrednosti sistema *Lock*. Med tehničnimi specifikacijami *Leice TPS1201* je navedena maksimalna tangencialna hitrost sledenja tarči na določeni oddaljenosti tarče od tahimetra, in sicer 5 m/s pri 20 m in 25 m/s pri 100 m.

Iz podatkov o maksimalni dovoljeni tangencialni hitrosti sledenja tarči lahko izračunamo približno maksimalno kotno hitrost sledenja tarči. Ta znaša 14 °/s. Iz približne kotne hitrosti pa lahko nato izračunamo približno tangencialno hitrost  $v$  na različnih razdaljah. Ob domnevi, da smo se s tarčo premikali s hitrostjo 5 km/h oziroma 1.4 m/s, je presenetljivo, da je tarčo na oddaljenosti štirih metrov sistem *Lock* sploh sledil, kaj šele ekstrapoliral njeno trajektorijo, saj je hitrost premikanja tarče večja od nominalne maksimalne hitrosti (1 m/s) sledenja tarči s sistemom *Lock*.

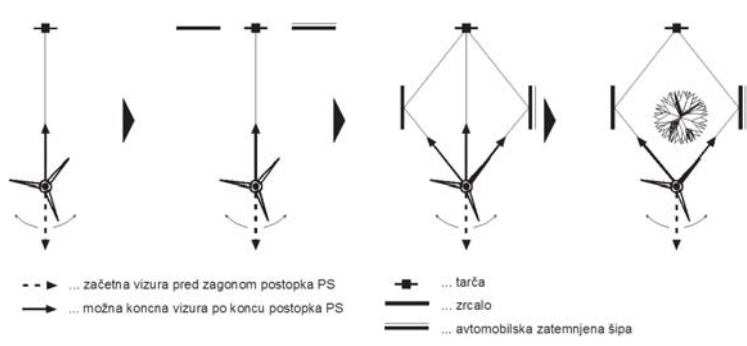
Algoritem za ekstrapolacijo trajektorije tarče je očitno in zanesljivo sposoben nadomestiti krajše prekinitve dogleđanja tarče in tahimetra, ki se na terenu tudi najpogosteje pojavljajo. Lociranje in nadaljnje sledenje tarči po srednje dolgih prekinitvah (od 2 s do 5 s) pa je odvisno od več dejavnikov. Poleg kakovosti algoritma za ekstrapolacijo in tangencialne hitrosti premikanja tarče ima največji vpliv pazljivost figuranta, ki ne sme izvajati nenadnih in nepredvidljivih premikov, trajektorija tarče pa mora biti kar se da enakomerno zvezna.

### 3.5 Praktični preizkus sistema *PowerSearch*

Praktično ovrednotenje uporabnosti in predvsem zanesljivosti sistema PS, ki temelji na tehnologiji pasivnih tarč, je težavno. V teoriji je delovanje sistema seveda idealizirano, vseh možnih scenarijev, ki se lahko pojavijo na terenu, pa je ogromno. V mislih imamo predvsem razne kombinacije motečih reflektirajočih objektov, ki jih ne more predvideti niti človek, kaj šele računski algoritem.

#### 3.5.1 Meritve

Različice testnega polja praktičnega preizkusa sistema PS in možne vizure proti ciljni točki so bile smiselno izbrane. Za tarčo smo uporabili reflektor *GPRI* z vizirno tarčo, moteča reflektirajoča objekta pa sta bila zrcalo dimenzij 50 cm x 50 cm in zatemnjena avtomobilska šipa. Začetna vizurna os daljnogleda je bila pred zagonom sistema PS pri vseh različicah usmerjena v približno nasprotni horizontalni smeri, kot je smer proti tarči. Tako je moral tahimeter pri iskanju tarče opisati horizontalni kot približno 180°. Oddaljenost tarče od stojišča je bila približno 15 m, tarča je bila stabilizirana na približno isti horizontalni ravnini kot tahimeter. Ko smo simulirali odboj tarče od reflektirajočih objektov, so bili ti stabilizirani tako, da smo s kraja postavitve tahimetra v njih fizično videli sliko tarče. Smer rotacije tahimetra okoli vertikalne osi je naključna, funkcijo PS smo ponavljali, dokler se tahimeter ni zarotiral v obe smeri vsaj nekajkrat



**Slika 2:** Konfiguracija testnega polja in potek meritev za potrebe preizkusa sistema PS

#### 3.5.2 Rezultati in ugotovitve

Praktični preizkus sistema PS je pokazal, da je sistem ob upoštevanju nekaterih osnovnih pravil uporabe precej zanesljiv. Dejstvo je, da zaradi tehnologije pasivnih tarč ni mogoča hkratna uporaba več tarč. Algoritem za računsko primerjavo odbitega laserskega signala sistema PS z referenčnim, od tarče idealno odbitim laserskim signalom, je dovolj kakovosten, da loči od tarče odbiti laserski signal od motečih reflektirajočih objektov odbitega svetlobnega signala sistema PS. Tako se ni med praktičnim preizkusom nikoli zgodilo, da bi tahimeter grobo naviziral moteči reflektirajoči objekt, zrcalo ali avtomobilska šipa.

Edina očitna pomanjkljivost sistema PS je možnost grobega viziranja slike tarče, ki se pojavi v reflektirajočem objektu. V takšnem primeru pa ne zataji samo sistem PS, ampak verjetno tudi

sistem ATR. Ko smo za reflektirajoči objekt, v katerem se vidi slika tarče, uporabili avtomobilsko steklo, je sistem PS običajno grobo naviziral tarčo, sliko tarče pa je ignoriral, čeprav se je na njegovi poti rotacije okoli vertikalne osi pojavila pred samo tarčo. Nekajkrat je grobo naviziral tudi sliko tarče v avtomobilskem steklu. Ob sprožitvi ukaza za avtomatsko fino viziranje s sistemom ATR in izmero ter registracijo meritev slike tarče je tahimeter javil napako, meritve pa ni izvedel.

Ko smo za moteči reflektirajoči objekt uporabili zrcalo, je sistem PS brez izjeme naviziral tarčo ali sliko tarče v zrcalu – odvisno, katera se je prej pojavila na poti rotacije okoli vertikalne osi. Ob sprožitvi ukaza za avtomatsko fino viziranje s sistemom ATR in izmero ter registracijo meritev slike tarče je tahimeter običajno javil napako, nekajkrat pa je izmero izvedel popolnoma enako, kot če bi bil naviziran proti tarči.

V zadnji različici poizkusa smo fizično prekinili vidnost tarče in tahimetra, slika tarče v zrcalu oziroma avtomobilskem steklu pa je ostala vidna s kraja postavitve tahimetra. Pri avtomobilskem steklu je sistem PS sliko tarče nekajkrat grobo naviziral, sicer pa javil, da se v njegovi okolici ne nahaja nobena tarča. Ko je bila slika tarče v zrcalu, jo je sistem PS praviloma grobo naviziral. Ta pomanjkljivost sistema PS v praksi ne bi smela povzročati večjih težav, saj je verjetnost, da se v okolici detajlne izmere, ki se običajno izvaja v zunanjih ruralnih ali urbanih okoljih, nahaja veliko motečih reflektirajočih objektov s podobnimi odbojnimi lastnostmi, kot jih ima zrcalo, relativno majhna. Možnost, da se v takšnih motečih reflektirajočih objektih pojavi še slika tarče, ki je vidna s kraja postavitve tahimetra, pa je res majhna.

#### 4 SKLEP

Tehnološke rešitve sodobnih elektronskih tahimetrov so namenjene predvsem racionalizaciji terenskega dela v klasični geodetski izmeri, saj omogočajo poenostavitev merskih postopkov, zmanjšanje terenske ekipe in porabe časa ter pridobitev kakovostnejših merskih vrednosti. Sistemi avtomatskega prepoznavanja in viziranja tarče (ATR), avtomatskega sledenja tarči (AST) in avtomatskega iskanja tarče (AIT) lajšajo delo operaterja (in figurantov), ki lahko ne glede na svoje »psihofizično« stanje pridobi dovolj kakovostne merske rezultate v krajšem času.

Prispevek prikazuje praktično preizkušanje delovanja različnih sistemov višjih stopenj avtomatizacije geodetskih merskih postopkov na primeru elektronskega tahimetra *Leica Geosystems AG TCRP1201 R300*. Na izbranem testnem polju smo z različnimi geodetskimi nalogami preizkušali posamezne sisteme in kombinacije med njimi. Ugotovili smo, da je glavna prednost postopkov predvsem sistem avtomatskega viziranja tarče (ATR). Pri ročnem viziranju na to stopnjo meritev najbolj vpliva ravno človeški dejavnik – slabo ocenjevanje položaja nitnega križa na tarči, pomanjkanje koncentracije –, kar zmanjša natančnost viziranja, predvsem pa se poveča poraba časa. Sistem ATR v praksi prihrani do 50 % časa, zato si lahko pri meritvah višjih redov natančnosti (npr. izmera geodetskih mrež po girusni metodi) privoščimo več ponovitev.

Poleg postopkov avtomatskega viziranja nas je zanimalo delovanje sistema avtomatskega sledenja tarči (AST – *Lock*) in avtomatskega iskanja tarče (AIT – *Power Search*). Oba sta prvotno namenjena detajlni geodetski izmeri in temu, da bi merski postopek na terenu obvladoval en sam človek.

Samostojno delo operaterja samo s sistemom *Lock* in funkcijo predvidevanja gibanja tarče ob izgubi povezave med instrumentom in tarčo se je izkazalo kot nezanesljivo ob daljši izgubi signala, časovno bolj potratno in precej naporno za operaterja. Na drugi strani pa sistem avtomatskega iskanja tarče (*Power Search*) večinoma deluje. Izjema so le malo verjetne situacije, ko imamo na terenu moteče reflektirajoče ovire, v katerih s stojišča instrumenta vidimo sliko tarče. Ugotovimo lahko, da bi popolno avtomatizacijo v detajlni geodetski izmeri omogočala le kombinacija sistemov avtomatskega sledenja in avtomatskega iskanja tarče.

### Literatura in viri:

ISO (2001). *International Standard ISO 17123, First edition, Optics and optical instruments – Field procedures for testing geodetic and surveying instruments, Part 3 – theodolites.*

ISO (2002). *International Standard ISO 17123, Corrected version, Optics and optical instruments – Field procedures for testing geodetic and surveying instruments, Part 4 – electro-optical distance meters (EDM instruments).*

Marjetič, A., Ambrožič, T., Bogatin, S., Klopčič, J., Logar, J., Štimulak, A., Majes, B. (2006). *Geodetske meritve v predoru Šentvid, Geodetski vestnik, 50/(1), 11–24.*

Valh, M. M., Marjetič, A., Kogoj, D. (2008). *Avtomatski elektronski tahimetri ali kam vodi razvoj TPS sistemov. Geodetski vestnik, 52/(3), 487–499.*

Valh M. M. (2008). *Avtomatski elektronski tahimetri. Diplomski naloga, Ljubljana: Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo, Oddelek za geodezijo.*

*Leica TPS1200+ A Telescope with New Opto-Mechanical Design. Heerbrugg, Leica Geosystems AG, Whitesheet. [www.leica-geosystems.com/common/shared/downloads/inc/downloader.asp?id=7585](http://www.leica-geosystems.com/common/shared/downloads/inc/downloader.asp?id=7585)*

**Prispelo v objavo: 24. december 2008**

**Sprejeto: 29. januar 2009**

**Marko Mataija Valh, univ. dipl. inž. geod.**

*E-pošta: nmataija@hotmail.com*

**asist. Aleš Marjetič, univ. dipl. inž. geod.**

*FGG - Oddelek za geodezijo, Jamova 2, SI-1000 Ljubljana*

*E-pošta: ales.marjetic@fgg.uni-lj.si*

**viš. pred. mag. Vesna Ježovnik, univ. dipl. geod. kom. inž.**

*FGG - Oddelek za geodezijo, Jamova 2, SI-1000 Ljubljana*

*E-pošta: vesna.jezovnik@fgg.uni-lj.si*

**izr. prof. dr. Dušan Kogoj, univ. dipl. inž. geod.**

*FGG - Oddelek za geodezijo, Jamova 2, SI-1000 Ljubljana*

*E-pošta: dusan.kogoj@fgg.uni-lj.si*