

AVTOMATSKI ELEKTRONSKI TAHIMETRI ALI KAM VODI RAZVOJ TPS SISTEMOV

AUTOMATIC TOTAL STATIONS OR WHERE THE DEVELOPMENT OF TPS SYSTEMS
GOES

Marko Matajia 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 pa je izvedba meritev mogoča tudi brez njegove prisotnosti, saj je delovanje tahimetra popolnoma avtomatizirano. Članek opisuje pojem tahimetra in njegov razvoj. Predstavljeni so motivi in tehnične osnove za razvoj višjih stopenj avtomatizacije elektronskih tahimetrov ter splošne značilnosti avtomatskih sistemov sodobnih elektronskih tahimetrov.

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 significantly reduce the work of an operator. In some cases measurements can be carried out without the presence of an operator, because the station is completely automated. Paper describes the tachymeter and its development. The motives and technical bases for the development of higher degrees of automation of total stations and general characteristics of automatic systems of total stations are described.

KEY WORDS

total station, automatic target recognition, automatic tracking, auto pointing, automatic target searching

1 UVOD

Razvoj instrumentalnih merskih tehnik in avtomatizacija izmere višje stopnje temeljita na tradicionalnih načelih terestrične izmere – razen fotogrametričnih metod, kjer se izmera objektov na terenu izvede večinoma v pisarni. Idejo o “strojih za merjenje”, ki bi se premikali po terenu in merili, je pred slabimi sedemdesetimi leti predstavil *Pfizer*, vendar uresničitev zaradi praktičnih razlogov takrat ni bila mogoča. Če “stroj za merjenje” dvignemo v zrak, govorimo o metodah in razvoju aerofotogrametrije. Razne merske platforme s kompleksnim merskim instrumentarijem, ki se premikajo po površju, vodi ali zraku – t. i. *inercialni merski sistemi*, pa so uporabnejši za določitev položaja in višine zelo oddaljenih točk ter pri izmerah, kjer se enak merski postopek periodično ponavlja (npr. geometrični nivelman), ne pa za neposredno polarno detajlno izmero. Za nadaljnji razvoj geodetskih metod izmere je izrednega pomena razvoj satelitske geodezije, ki omogoča določanje položaja točk na Zemlji s pomočjo umetnih satelitov. Že tretja generacija v razvoju instrumentalne tehnike za satelitska opazovanja v geodetske namene, imenovana GPS

(*Global Positioning System*), je omogočala centimetrsko natančnost določitve položaja točk. Te nove revolucionarne geodetske merske tehnike so nadomeščale in v kombinaciji z avtomatiziranim načinom merjenja in obdelave podatkov še vedno nadomeščajo klasične terestrične metode izmere, ki so precej odvisne od razmer na terenu in medsebojnega dogledanja točk. S takšnim razvojem se na eni strani zožuje področje delovanja klasične izmere, na drugi strani pa je za uspešno konkuriranje novim metodam treba usmeriti razvoj terestrične izmere v avtomatizacijo merskih postopkov.

Razvoj elektronskih tahimetrov teži k izboljšavam, ki omogočajo odpravo vseh vrst instrumentalnih pogrškov, pogrškov operaterja in avtomatizacijo merskih postopkov. Velik napredek v razvoju elektronskih tahimetrov predstavlja vgradnja servomotorjev, ki samodejno vrtijo zgornji sestav in daljnogled instrumenta – *motorizirani elektronski tahimeter*. *Servomotorji*¹ so podlaga za razvoj novih tehnologij, ki bodo popolnoma avtomatizirale delovanje tahimetrov. Če motorizirani elektronski tahimeter opremimo še z ustrežno programsko in strojno opremo, potrebno za realizacijo teh novih tehnologij, ki ima v najbolj sofisticiranih instrumentih že lastnosti umetne inteligence, pridemo do zadnje razvojne stopnje tahimetrov – avtomatiziranih ali robotiziranih elektronskih tahimetrov oziroma *avtomatskih elektronskih tahimetrov* (Kavanagh, 2007).

2 POPOLNA AVTOMATIZACIJA ELEKTRONSKIH TAHIMETROV

Popolna avtomatizacija elektronskih tahimetrov je potekala v dveh korakih oziroma dveh razvojnih stopnjah. Prvi korak je bil razvoj tehnologije oziroma sistema za *avtomatsko prepoznavanje tarče* (APT). APT je sistem, ki nadomesti ročno fino viziranje tarče, ko se le-ta običajno že nahaja v vidnem polju daljnogleda tahimetra oziroma v vidnem polju sistema APT, vendar brez ustrezne podpore še ne omogoča popolne avtomatizacije merjenja in še vedno zahteva prisotnost operaterja. Če tarča ni v vidnem polju sistema APT, je sistem APT ni zmožen poiskati. Potrebno je:

- posredovanje operaterja, ki grobo navizira tahimeter na ciljno točko,
- posredovanje mikroprocesorja, ki daljnogled usmeri v pravo smer na podlagi približnega položaja, pridobljenega iz predhodno opravljenih *ničelnih opazovanj*² ali približnih koordinat opazovanih točk (npr. periodična opazovanja premikov in deformacij, kjer se točke premikajo relativno malo),
- posredovanje sistema za avtomatsko iskanje tarče.

V okviru tehnologije APT obstajata dva sistema: *avtomatsko viziranje tarče* (AVT) in *avtomatsko sledenje tarče* (AST). AVT je glavnina sistema APT, saj je za njegovo realizacijo potrebna večina programske in vsa strojna oprema, ki jo uporablja sistem AST. AST je samo programska nadgradnja sistema AVT, ki omogoča sledenje in dinamično merjenje do hitro ali počasi se premikajoče tarče, ko je ta že identificirana s sistemom AVT. Ponudniki, ki danes nastopajo na trgu geodetskih instrumentov, v motorizirane elektronske tahimetre vgrajujejo AVT kot osnovni sistem avtomatskih elektronskih tahimetrov, AST pa je dodatni modul, ki ga vgradijo ob doplačilu.

¹ Mehanizem, ki opravlja delo, potrebno za krmiljenje ali regulacijo.

² Opazovanja do ciljnih točk, samo v I. girusu in v eni ponovitvi, ki zagotovijo podatke o približni smeri proti točkam.

Drugi, zadnji korak v avtomatizaciji elektronskih tahimetrov je dopolnitev oziroma nadgradnja sistema APT s tehnologijo *avtomatskega iskanja tarče* (AIT), ki je sposobna vizurno os tahimetra grobo navizirati proti tarči, ki se nahaja na "poljubni" lokaciji v okolici instrumenta. Vgrajeni modul ne zahteva več prisotnosti operaterja in popolnoma avtomatizira mehanske operacije tahimetra. Avtomatskemu elektronskemu tahimetru z vgrajeno tehnologijo AIT posredujemo osnovne operacije in pregledujemo rezultate opazovanj s posebno kontrolno enoto na tarči, ki je z instrumentom povezana s *telemetrično povezavo*³. Tahimetru z vgrajenima tehnologijama APT in AIT tako uporabnik prek kontrolne enote posreduje, katero točko naj izmeri, ta pa s tarčo signalizirano točko s sprožitvijo ustreznega ukaza najde hitro in zanesljivo ter izmero s pomočjo krmiljenja mikroprocesorja avtomatično izvede.

3 TEHNIČNE OSNOVE ZA RAZVOJ AVTOMATSKIH ELEKTRONSKIH TAHIMETROV

3.1 Motorizacija tahimetra

Podlaga za razvoj avtomatskih elektronskih tahimetrov je motorizacija rotacij delov tahimetra okrog glavnih osi. Zato so v tahimetre začeli vgrajevati dva servomotorja, ki vrtita zgornji del instrumenta okrog horizontalne in vertikalne osi. Ker mora hitrost rotacij za učinkovito delovanje sistema znašati od 50 gon/s do 60 gon/s, je bilo zaradi delovanja večjih sil treba rešiti vrsto mehanskih problemov, predvsem v zgradbi osi. Poleg tega je natančnost pozicioniranja limbov odvisna od koraka servomotorja. Za natančne tahimetre mora takšen najmanjši korak pri radiju limba 60 mm znašati manj kot 0,05 μm , da bi dosegli zanesljivost pozicioniranja 0,1 μm , kar odgovarja kotni vrednosti 0,1 mgon. Današnji tahimetri so to zanesljivost določitve položaja že krepko presegli (Benčić, 1990).

3.2 Daljnogled elektronskega tahimetra

Tehnologije za avtomatizacijo elektronskih tahimetrov zahtevajo drugačno konstrukcijo daljnogleda instrumenta. Podlaga je koaksialni optični sistem⁴, ki usmeri valovanje elektrooptičnega razdaljemera skozi optiko daljnogleda. Velika pomanjkljivost konstrukcije starejših daljnogledov je bila, da so imeli zelo ozko vidno polje. Sistemu APT, ki je precej odvisen od velikosti vidnega polja daljnogleda, bi se tako znatno zmanjšalo vidno polje. Obenem mora novi daljnogled omogočati zelo natančen mehanski premik leč s servomotorjem za avtomatsko ostrenje slike, ki je potrebno za natančno avtomatsko fino viziranje nekaterih tahimetrov. Moderni daljnogledi imajo tipično zorno polje širine 1°30'.

Daljnogledi modernih (avtomatskih) elektronskih tahimetrov imajo v sebi vgrajen poseben optični sistem. Ta omogoča sprejem odbitega merskega žarka sistema AVT koaksialno z vizirno osjo daljnogleda in prenos slike na senzor za obdelavo prejetega merskega signala, obenem pa še vedno omogočajo klasično (vizualno) viziranje. Lahko pa imajo vgrajen še sistem za osvetlitev ciljne točke in modul za samousmeritev nosilca prizme (*Tracklight* ali *Guide Light*).

³ Povezava za pošiljanje podatkov o izmerjenih vrednostih na daljav.

⁴ Elektronski razdaljemer tahimetra uporablja optiko daljnogleda teodolita.

3.3 Daljinsko vodenje elektronskega tahimetra

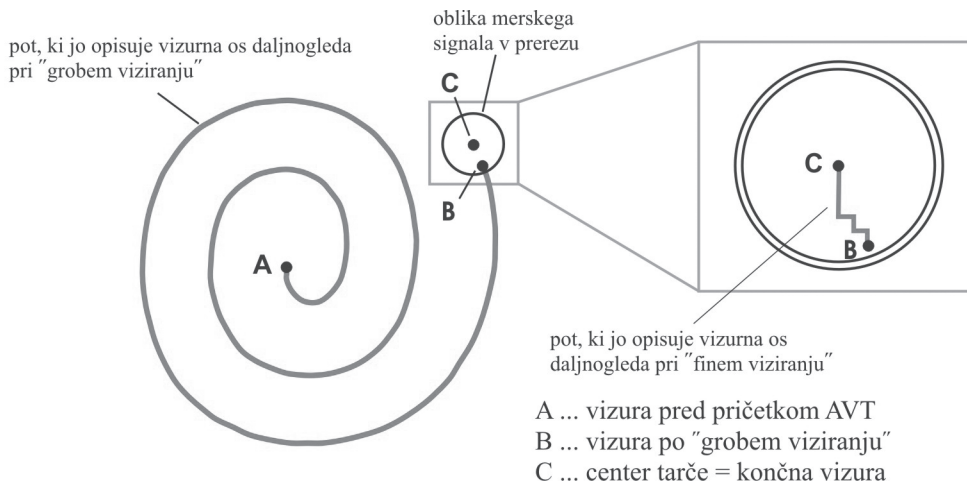
Avtomatskemu elektronskemu tahimetru z vgrajeno tehnologijo APT in AIT želimo posredovati njegove osnovne naloge oziroma operacije s ciljne točke, kjer se fizično nahajamo, oziroma instrument daljinsko upravljati. Potrebujemo torej dodatno strojno opremo, ki takšno komunikacijo omogoča – to pomeni dva nova modula v našem merskem sistemu: premično kontrolno enoto (npr. ob signalni tarči) in opremo za realizacijo telemetrične povezave med kontrolno enoto ob tarči in elektronskim tahimetrom (npr. radijska ali optična povezava). Vse ukaze nato uporabnik posreduje mikroprocesorju v instrumentu prek kontrolne enote, ki se ne nahaja več samo na instrumentu, ampak tudi ob signalni tarči. Kontrolna enota ob tarči je z mikroprocesorjem v instrumentu povezana prek telemetrične povezave. Zaslon kontrolnih enot v instrumentu in ob tarči delujeta običajno sinhronizirano. Ker zaslon na kontrolni enoti ob tarči prikazuje podatke v realnem času, je daljinsko vodenje uporabno tudi pri standardnih elektronskih tahimetrih, ki jih upravljajo operaterji. Inženirju oziroma vodji terenske izmere omogoča vpogled v opazovanja, čeprav se fizično ne nahaja ob tahimetru, kar je včasih zelo praktično. Olajšano je tudi zakoličevanje točk, saj ima operater, ki premika tarče, pri roki vse podatke, ki so bili prej vidni samo na instrumentu, potreba po stalni komunikaciji med operaterjem in nosilcem tarče tako ni več potrebna.

4. AVTOMATSKO PREPOZNAVANJE TARČE

Osnovna komponenta sistema APT je AVT, ki ga je mogoče realizirati z različnimi konstrukcijami. V preteklosti sta bili uporabljeni predvsem rešitvi *AVT z detekcijo maksimalne intenzitete povratnega signala* in *AVT z izenačitvijo jakosti signala simetrično razporejenih fotodiod* (Benčič, 1990). Danes za prepoznavanje tarče avtomatiziranih elektronskih tahimetrov večina proizvajalcev uporablja kamere ali tipala oziroma senzorje CCD (Charge Coupled Device) in CMOS (Complementary Metal Oxide Semiconductor). Razlog je očitna prednost, ki jo prinaša digitalna obdelava slike prejetega merskega valovanja sistema APT.

4.1 AVT z detekcijo maksimalne intenzitete povratnega signala

Instrument skuša najti smer, pri kateri je jakost odbitega elektromagnetnega valovanja elektrooptičnega razdaljemera največja. Mikroprocesor s servomotorji premika instrument okrog vertikalne in horizontalne osi elektronskega tahimetra. V prvi fazi skuša mikroprocesor analogno grobemu viziranju operaterja s spiralasto obliko pravokotne ali okrogle oblike poti, ki jo opisuje, najti približni položaj tarče. Začne v neki točki A – trenutna smer tahimetra (slika 1) – ter ob konstantnem merjenju jakosti odbitega signala riše spiralo krožne ali kvadratne oblike, vse dokler odbitega signala dejansko ne zazna (točka B) – groba vizura proti tarči. V tem trenutku je vizurna os od iskane smeri proti tarči oddaljena maksimalno za velikost radija svetlobnega žarka elektrooptičnega razdaljemera na določeni razdalji. Merski signal elektrooptičnega razdaljemera namreč ni premočrten, ampak ima določeno divergenco (Benčič, 1990).



Slika 1: Grobo in fino viziranje z detekcijo maksimalne intenzitete povratnega signala

V drugi fazi, ki je analogna finemu optičnemu viziranju operaterja, premika mikroprocesor vizurno os daljnogleda za majhne vrednosti izmenično v horizontalni in vertikalni smeri, vse dokler ne registrira maksimalne jakosti povratnega signala po vertikali in horizontali, kar pomeni, da je tarča fino navizirana (točka C). Nato se izvede registracija opazovanj, mikroprocesor pa nadaljuje zastavljeno nalogo. Če v prvi fazi iskanja na navedenem območju instrument ne zazna odbitega merskega valovanja elektrooptičnega razdaljemerja, bo mikroprocesor računalniku posredoval podatke o napaki in nadaljeval opazovanja, kot mu je določeno (Benčič, 1990).

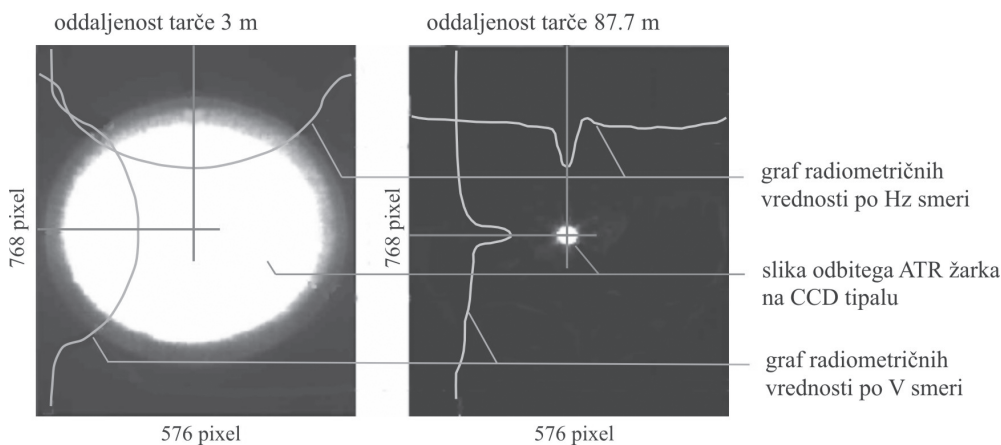
4.2 AVT z izenačitvijo jakosti signala simetrično razporejenih fotodiod

Ciljna točka se signalizira z močnim svetlobnim signalom, najbolj preprosto z živosrebrno žarnico. Za okularjem elektronskega tahimetra je vgrajen modul s štirimi fotodiodami, razporejenimi simetrično v štiri kvadrante. Vse fotodiode se nahajajo na skupni silicijski ploščici in tvorijo detektor za detekcijo svetlobnega signala. Oko operaterja je tako zamenjal sistem diod s samo štirimi receptorji. Modulirani svetlobni snop cilja, ki ima znano frekvenco, pade na detektor za detekcijo svetlobnega signala, vsaka fotodiode pa izmeri jakost prejetega svetlobnega signala. Mikroprocesor obdela signale in če je izmerjena jakost na njih fotodiodah večja kot na drugih, servomotorjema posreduje predvidene popravke smeri, ki jih izračuna. Postopek se ponavlja, dokler obstaja razlika v jakosti signala na posameznih diodah – takrat je svetlobna točka v ničelni točki detektorja oziroma v središču nitnega križa. Natančnost takšnega avtomatskega viziranja je majhna, saj tako enostaven detektor s samo štirimi receptorji ne more nadomestiti očesa operaterja, ki ima v srednjem delu na površini 0,1 mm, približno 2500 receptorjev. Prednost sistema je enostavna in poceni zgradba modula in včasih, ko ne potrebujemo velike natančnosti (npr. določitev poti hitrih ciljev), poda sistem popolnoma zadovoljive rezultate (Benčič, 1990).

4.3 AVT z uporabo senzorjev CCD ali CMOS

Izrazito novost v razvoju avtomatskega viziranja so prinesle kamere oziroma tipala CCD in CMOS. Razdaljemer tahimetra pošlje skozi optiko sistema APT ali koaksialno skozi daljnogled laserski merski žarek proti tarči oziroma v smeri vizurne osi daljnogleda. Odbiti laserski žarek sprejme kamera CCD ali CMOS, ki ima prav tako koaksialno ali ločeno optiko z daljnogledom. Kamera CCD ali CMOS opravlja vlogo prejemnika od tarče odbitega laserskega žarka in procesorja slike žarka. Če je signal odbitega laserskega žarka prešibak oziroma ni njegovega odboja, se izvede postopek, podoben sistemu viziranja z detekcijo maksimalne intenzitete povratnega signala. Med merskim sistemom tahimetra in merskim sistemom tipala kamere CCD ali CMOS je nujna vzpostavitev funkcijske zveze. Ta funkcijska zveza, kot stalni referenčni odnos, se imenuje *kalibracija* sistema.

Podatki o izmerjeni jakosti odbitega laserskega žarka in odstopanja slike laserskega žarka od središča koordinatnega sistema tipala CCD ali CMOS, ki predstavlja trenutno vizurno os, se posredujejo mikroprocesorju in ta jih s pomočjo kalibracijskih parametrov preračuna v kotne vrednosti, servomotorji pa nato zavrtijo tahimeter okoli horizontalne in vertikalne osi za te vrednosti (Leica, Whitesheet).



Slika 2: Slika odbitega signala in določitev točke maksimalne radiometrične vrednosti

Po tem postopku je vizurna os tahimetra fizično usmerjena skoraj v središče tarče, odstopanja so reda velikosti nekaj sekund, kotne vrednosti na horizontalnem in vertikalnem limbu se lahko registrirajo. Če dosežena natančnost merjenja kotov ni zadovoljiva, tahimeter na podlagi natančno izmerjene razdalje do točke s sistemom za avtomatsko ostrenje izostri sliko v daljnogledu ter ponovno odda laserski žarek. Majhna odstopanja, ki se pojavijo med novo sliko prejetega žarka na tipalu CCD ali CMOS in koordinatnem izhodišču tipala tarče, se nato upoštevajo računsko ter naknadno prištejejo k registriranim vrednostim kotov. Raziskave so pokazale, da je za viziranje tarče s sistemom AVT potrebna samo tretjina do polovica časa, ki bi ga za isti postopek potreboval izkušeni operater (Kavanagh, 2007).

5 AVTOMATSKO SLEDENJE TARČI

Nadgradnja tehnologije AVT je v instrument vgrajena tehnologija za avtomatsko sledenje tarče (AST). Z njo lahko avtomatski elektronski tahimeter sledi tarči, ki jo je predhodno identificiral s sistemom AVT. AST omogoča reševanje nekaterih specifičnih geodetskih nalog, kjer so potrebne kontinuirane meritve do premikajočih objektov oziroma ciljnih točk z namenom določitve poti, ki jo opiše ciljna točka – *dinamične meritve*. Še pomembneje pa je, da je AST naslednja razvojna stopnja v avtomatizaciji polarne izmere. Če je operater pri nošenju tarče pazljiv in ob premikanju tarče ohranja dogledanje tarče in tahimetra, obenem pa ima ob sebi kontrolno enoto za daljinsko vodenje instrumenta, lahko teoretično izmero že opravlja sam – *Stop and Go* metoda izmere.

Podlaga za učinkovito sledenje tarči je hitro in zanesljivo delovanje sistema AVT (npr. obdelava slike odbitega merskega žarka na kameri CCD ali CMOS). Frekvenca obdelave merskega signala AVT je omejena s procesorskimi zmogljivostmi senzorjev sistema AVT v tahimetru in zmožnostmi algoritmov, ki krmilijo proces AST. Posledično sta omejeni oddaljenost in predvsem hitrost gibanja ciljnih točk.

Pri AST se spet pojavi niz problemov, ki so vezani na izgubo tarče iz vidnega polja sistema APT zaradi motečih objektov in prahu ter nepozornosti operaterja, ki premika tarčo z ene ciljne točke na drugo. Če operater pri nošenju tarče želi, da ga tahimeter sledi s pomočjo sistema AST, mora paziti, da s tarčo ne izvaja nenadnih, nepredvidljivih ali prehitrih gibov, reflektor tarče pa mora biti stalno usmerjen proti tahimetru.

Za krajše prekinitve dogledanja med tahimetrom in tarčo oziroma prekinitve merskega signala sistema AST se uporabljajo posebni računski algoritmi, ki na podlagi predhodne hitrosti in smeri tarče skušajo ekstrapolirati in predvideti, kako se bo tarča premikala med prekinitvijo signala. Od kompleksnosti in kompaktnosti teh numeričnih filtrov je nato odvisno, koliko časa bo sistem AST sposoben brez dogledanja tarče in tahimetra ekstrapolirati pot tarče (Leica, Whitesheet).

6 AVTOMATSKO ISKANJE TARČE

Realizacija ideje AIT, ki se naključno in nezvezno premika oziroma pojavlja v okolici instrumenta, je zadnji velik korak v avtomatizaciji elektronskega tahimetra. S sistemom AIT želimo dopolniti sistem AST ter tako dokončno zmanjšati število osebja na terenu – torej prisotnost operaterja. Teoretično in tudi praktično lahko s tako avtomatiziranim instrumentom terensko izmero opravlja en sam človek, zato se je uveljavil angleški izraz *One Man Station*.

Celovita rešitev tehnoloških problemov in sinhronizacija sistemov APT in AIT zahteva uporabo najsodobnejše tehnologije in znanj z različnih področij. Pred konkretnim tehničnim razvojem sistema AIT in vgradnjo sistema v elektronski tahimeter pa si morajo konstruktorji odgovoriti na nekatera osnovna vprašanja, ki bodo odločilno vplivala na razvoj sistema oziroma njegove tehnične in programske rešitve.

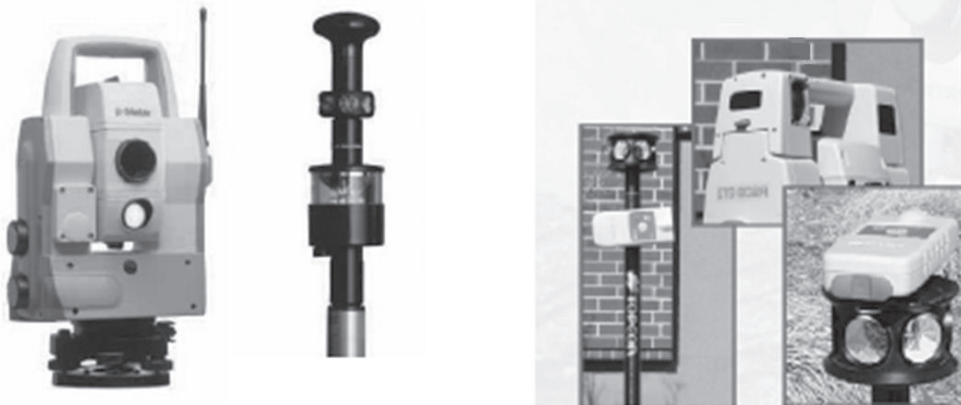
Teoretično je maksimalno možno *iskalno območje* tarče kroglja s središčem v presečišču osi X in Y instrumenta. To iskalno območje lahko po preudarnem razmišljanju bistveno omejimo. Strme vizure navzgor (zenitna razdalja $< 45^\circ$) nastopajo samo v posebnih merskih nalogah, npr. pri

določevanju višine stolpov, spuščanju višinskih točk ipd. Brez reflektorja za strme vizure ali zenitnega okularja so takšne merske točke pogosto neizmerljive. Pri strmih vizurah navzdol (zenitna razdalja $> 135^\circ$) je podnožje instrumenta fizična ovira. Že groba analiza porazdelitev točk tahimetričnih merjenj pri detajlnem snemanju in zakoličevanju pokaže, da se več kot 90 % točk nahaja med zenitnima razdaljama 80° in 100° .

Primer:

AIT bi želeli realizirati brez dodatne strojne opreme v avtomatskem elektronskem tahimetru z vgrajenim sistemom AVT, ki ima vidno polje, široko radialno eno stopinjo – torej samo z dodatnimi programskimi rešitvami. V procesu avtomatskega iskanja točke se omejimo na območje med zenitnima razdaljama 80° in 100° . Iskanje točke bo v najslabšem primeru potekalo na horizontalnem območju med horizontalnima smerema 0° in 360° .

Tako omejeno iskalno območje avtomatskega iskanja tarče bi zahtevalo ogromno meritev. Korak premikanja servomotorjev bo velik največ 1° , ker je vidno polje sistema AVT široko 1° radialno. Za preiskavo celotnega območja med horizontalnima smerema 0° in 360° v širini razlike zenitnih razdalj kotov 80° in 100° bo treba izvesti 7360 zagonov sistema AVT ($360^\circ / 1^\circ \cdot (20^\circ / 1^\circ) = 7360$). Če vsak zagon sistema AVT traja približno 10 s, bo postopek iskanja dolg maksimalno 73600 s oziroma 20 ur.



Slika 3: Tehnologija pasivnih tarč (Trimble) in tehnologija aktivnih tarč (Topcon)

Zaradi velikega števila meritev, ki bi jih moral izvesti sistem AVT, da bi brez pomoči našel tarčo, se je pojavilo vprašanje, kako instrumentu omejiti iskalno območje. Signalizirano tarčo bo instrument grobo naviziral hitreje, če bo približno vedel, kje se nahaja. Zato je večina proizvajalcev avtomatiziranih elektronskih tahimetrov začela razvijati tehnologije za lociranje tarče oziroma grobo viziranje proti tarči. Nekateri uporabljajo t. i. *tehnologijo aktivnih tarč*, pri kateri so tarče sposobne usmeriti elektronski tahimeter v pravo smer – imajo aktivno vlogo v merskem postopku. Drugi proizvajalci pa vztrajajo pri običajnih tarčah, kjer se vse operacije izvedejo v instrumentu,

tarča pa opravlja samo svojo tradicionalno vlogo – t. i. *tehnologija pasivnih tarč*.

Ne glede na to, ali so tarče aktivne ali pasivne, je za povečanje iskalnega območja tahimetra potrebna dodatna, ne samo programska, ampak tudi strojna oprema avtomatskega elektronskega tahimetra, ki pa se seveda razlikuje glede na tehnologijo tarč. Skupek dodatne strojne in programske opreme za realizacijo avtomatskega iskanja tarče lahko poimenujemo modul oziroma enota AIT.

Ena izmed osnovnih sestavin večine modulov AIT je oddajnik elektromagnetnega valovanja, ki prek posebne optike emitira snop žarkov. Oddajnik se lahko nahaja na tarči (aktivne tarče) ali v tahimetru (pasivne tarče). Če se oddajnik nahaja v tahimetru, je lahko osnova za snop žarkov kar svetilo elektrooptičnega razdaljemera. Snop žarkov se iz oddajnika širi v obliki stožca ali piramide, ki ima vrh v oddajniku. Osnovna ploskev stožca ali piramide je *iskalno območje*. Velikost iskalnega območja je lahko različna, odvisna je predvsem od zmožnosti senzorjev sistema AIT, ki zaznajo od tarče odbiti signal, in sposobnosti algoritmov, ki na podlagi odbitega signala približno pozicionirajo vizurno os tahimetra (Spectra Precision).

6.1 Tehnologija AIT z aktivnimi tarčami

Aktivna tarča ima poleg reflektorja in kontrolne enote za daljinsko upravljanje s tahimetrom še poseben oddajnik, ki ob sprožitvi sistema AIT emitira določeno elektromagnetno valovanje. Nekateri proizvajalci uporabljajo snope laserskih žarkov, drugi sinusno modulirano infrardeče elektromagnetno valovanje. Operater usmeri oddajnik elektromagnetnega valovanja z optično usmerjevalno napravo na tarči proti avtomatskemu elektronskemu tahimetru, ki ob sprožitvi sistema AIT začne rotirati okrog glavnih osi, da bi tako določil približno smer proti tarči. Ko posebni senzor v tahimetru zazna iz aktivne tarče oddano elektromagnetno valovanje, mikroprocesor ustavi rotiranje tahimetra. Nato instrument preklopi na sistem APT, saj se v tem trenutku tarča že nahaja v vidnem polju sistema APT.

Aktivne tarče močno zmanjšujejo verjetnost, da bo modul AIT zaznal kakšen moteči odbiti signal – signal, ki se ne odbije od tarče, ampak od drugih reflektirajočih predmetov v okolici. Če na terenu uporabljamo več tarč, obstaja tudi možnost, da avtomatski elektronski tahimeter izbere in navizira napačno tarčo (Greenwood, 2001).

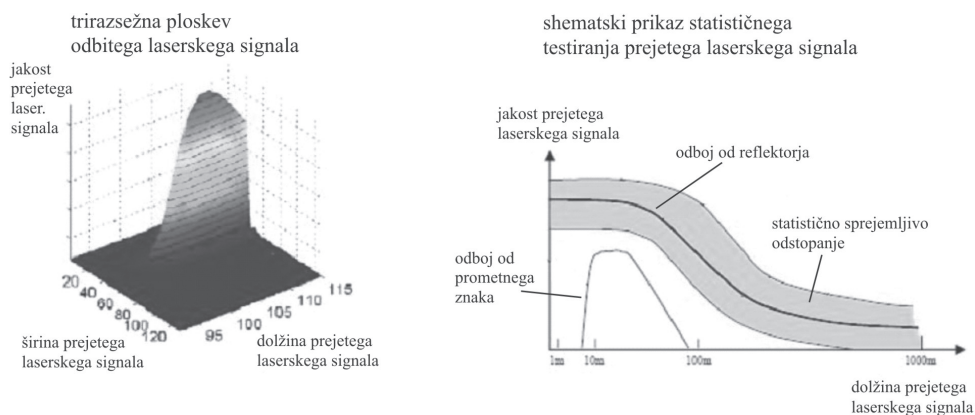
6.2 Tehnologija AIT s pasivnimi tarčami

Pasivna tarča je lahko vsaka običajna tarča, ki se uporablja pri klasični terestrični izmeri z elektronskim tahimetrom, oziroma tarča, ki omogoča AVT. Ker pa je sistem AIT običajno nadgradnja sistema AST, se velikokrat uporabljajo tarče s 360° reflektorjem, ki omogočajo enostavnejše avtomatsko sledenje tarči.

Pri tehnologiji AIT s pasivnimi tarčami ob sprožitvi ukaza za iskanje tarče avtomatski elektronski tahimeter prek posebne optike v sistemu AIT začne emitirati snop laserskih žarkov, obenem pa servomotorji rotirajo zgornji sestav instrumenta okoli vertikalne osi. Ko senzor sistema AIT v tahimetru sprejme odbiti svetlobni signal, mikroprocesor ustavi rotiranje tahimetra okoli vertikalne osi in začne daljnogled počasi rotirati še okrog horizontalne osi. Ko določi približno horizontalno

in vertikalno smer vizurne osi proti ciljni točki, preklopi na sistem APT. Iskalno območje snopa laserskih žarkov mora imet širok vertikalni kot, horizontalni kot pa je lahko precej ozek, saj bo svetlobni signal, emitiran iz tahimetra, ki se vrtili okoli vertikalne osi, vsekakor zadel tarčo in se odbil nazaj.

Modul AIT mora biti sposoben, da signal, odbit od tarče, razloči od motečih odbitih signalov. Pogosti moteči dejavnik je umetna svetloba ter odbita in neposredno vpadla sončna svetloba. Naslednja težava pri prepoznavanju signala je pojav ogromne dinamike med signalom, odbitim od tarče, in signalom, odbitim od *reflektirajočih objektov*, kot so šipe in zrcala ali velike osvetljene bele ploskve. Tako je lahko "pravi" signal, ki določa mersko točko, veliko šibkejši od navedenih motečih signalov in se sešteje s šumom. Razvijalci te tehnologije so zato razvili posebne algoritme, ki primerjajo odbiti signal z referenčnim signalom, idealno odbitim od tarče.



Slika 4: AIT firme Leica – izločitev motečih signalov sistema AIT

Če so odstopanja prevelika, tahimeter nadaljuje proces avtomatskega iskanja tarče ter skuša najti "pravi" odboj. Velika pomanjkljivost tehnologije AIT s pasivnimi tarčami je tudi zelo otežena hkratna uporaba več tarč, saj je edina trivialna rešitev fizično zakrivanje reflektorjev tarč, ki trenutno niso v funkciji signalizacije ciljne točke (Leica, Whitesheet).

7 PREGLED TEHNOLOGIJ APT, AST IN AIT NEKATERIH POMEMBNEJŠIH PROIZVAJALCEV

Proizvajalci avtomatskih elektronskih tahimetrov razvijajo tehnologije APT in AIT samostojno in precej v tajnosti. Javno dostopna so samo osnovna načela delovanja sistemov višjih stopenj avtomatizacije ter osnovne tehnične lastnosti, podrobnejše informacije pa so zelo skope. Še bolj zanimivo je, da na področju avtomatiziranih elektronskih tahimetrov niti proizvajalci niti strokovnjaki ne uporabljajo enotne terminologije. Laičnim uporabnikom oziroma kupcem je tako praktično onemogočeno, da bi na primer pred nakupom avtomatskega tahimetra enostavno izvedli primerjavo avtomatskih elektronskih tahimetrov posameznih proizvajalcev. V preglednici 1 so na kratko predstavljene glavne tehnične specifikacije tehnologij višjih stopenj avtomatizacije pomembnejših proizvajalcev oziroma njihovih najsodobnejših elektronskih tahimetrov.

	<i>Leica TPS1201+</i>	<i>Sokkia SRX1</i>	<i>Trimble S8</i>	<i>Topcon GPT9001A</i>
Natančnost Hz in V kotov po standardu ISO 17123-3	1"	1"	1"	1"
Največja hitrost rotiranja	45°/s	45°/s	115°/s	85°/s
Vidno polje daljnogleda	1°30'	1°30'	1°30'	1°30'
Poimenovanje sistema AVT	ATR (Automatic Target Recognition)	Autopointing	Autolock/Finelock	Auto Lock
Princip delovanja sistema AVT	Digitalna obdelava oddanega merskega signala, ki se preslika na CMOS-tipalo s koaksialno optiko z daljnogledom.	Oddani merski signal se preslika na tipalo CCD, ki ima koaksialno optiko z daljnogledom.	Tarča RMT (<i>Remote Measured Target</i>) emitira merski signal, ki ga sprejema senzor v inst., ter popravlja smer, dokler vizurna os ni poravnana s smerjo proti tarči.	-
Merski signal sistema AVT	Infrardeči laserski žarek	Infrardeči impulzni laserski žarek (830 nm)	Sinusno modulirano infrardeče EMV	-
Doseg sistema AVT	1,5 m – 1000 m (standardna tarča <i>GPRI</i>) 1,5 m – 600 m (360° reflektor <i>GRZ4</i>)	2 m – 1000 m (standardna tarča <i>APO1</i>) 2 m – 600 m (360° reflektor <i>APT1</i>)	0,2 m – 500m /700 m (<i>Passive prisms</i>) 0,2 m – 800 m (<i>Trimble Multi Track Target</i>)	-
Natančnost viziranja sistema AVT	1 mm za krajše razdalje 1" za večje razdalje	2 mm za razdalje do 100 m (4") 3" za razdalje, večje od 100 m	2 mm pri 200 m (2")	-
Časovni interval viziranja s sistemom AVT	1,5 s (tarča se nahaja v vidnem polju daljnogleda)	4 s – 8 s (tarča se nahaja v vidnem polju daljnogleda)	2 s – 10 s	-
Poimenovanje sistema AST	<i>Lock</i>	<i>Autotracking</i>	<i>Robotic</i>	<i>Automatic Tracking</i>
Doseg sistema AST	5 m – 800 m (standardna tarča <i>GPRI</i>) 5 m – 500 m (360° reflektor <i>GRZ4</i>)	5 m – 800 m (standardna tarča <i>APO1</i>) 5 m – 500 m (360° reflektor <i>APT1</i>)	0,2 m – 500 m / 700 m (<i>Passive prisms</i>) 0,2 m – 800 m (<i>Trimble MultiTrack Target</i>)	-
Največja hitrost sledenja sistema AST	5 m/s pri 20 m 25 m/s pri 100 m	14°/s 5 m/s pri 20 m 25 m/s pri 100 m	-	15°/s
Poimenovanje sistema AIT	<i>Power Search</i>	<i>On Demand Control Unit</i>	<i>GeoLock</i>	<i>Quick Lock / Remote Control RC3</i>
Vrsta tarče	pasivna	aktivna – emitira snop laserskih žarkov	aktivna – z vgrajenim navigacijskim sprejemnikom GPS	aktivna – emitira infrardeči laserski signal
Vrsta telemetrične povezave med tarčo in kontrolno enoto za daljinsko vodenje oz. tahimetrom	ni potrebna	<i>Bluetooth</i> povezava	<i>Bluetooth</i> povezava (tarča – kontrolna enota)	Infrardeči laserski žarek (tarča – tahimeter) <i>Bluetooth</i> povezava (tarča – kontrolna enota)
Vrsta telemetrične povezave med tahimetrom in kontrolno enoto za daljinsko vodenje	radijska povezava	<i>Bluetooth</i> povezava	<i>Bluetooth</i> povezava	radijska povezava
Čas iskanja tarče sistema AIT	največ 10 s		15 s – 30 s (postopek lokalizacije) 3 s (ko je sistem že lokaliziran)	približno 10 s

Preglednica 1: Izbrani sodobni elektronski tahimetri in njihove značilnosti

8. ZAKLJUČEK

Višje stopnje avtomatizacije elektronskih tahimetrov so dobrodošel dodatek oziroma nadgradnja običajnih elektronskih tahimetrov. Z njimi se močno poenostavi in optimizira veliko predvsem rutinskih merskih opravil.

Relevantno mnenje o uporabnosti sistema elektronskega tahimetra je mogoče pridobiti le in predvsem na podlagi praktičnih izkušenj. Te prej ali slej pridobimo, če imamo na voljo ustrezen instrument ali celo niz instrumentov, ki jih uporabimo pri vsakdanjem delu. Je pa nenavadno in celo naivno, če slepo verjamemo proizvajalcem in instrument preprosto kupimo – brez skrbnega pregleda ponudb različnih proizvajalcev in primerjalnih testov.

Tehnologija avtomatskega viziranja tarče v kombinaciji s specializirano programsko opremo je idealna za vzpostavitev popolnoma robotiziranih meritev za potrebe opazovanja premikov in deformacij ali izmer geodetskih mrež, kjer je potrebno veliko meritev do istih ciljnih točk. Zelo je uporabna tudi pri detajlni izmeri, saj močno razbremeni operaterja. Avtomatsko sledenje tarči je namenjeno predvsem reševanju specifičnih geodetskih nalog, kjer nas zanima določitev položaja premičnih točk. Za realizacijo t. i. *One Man Station* instrumenta, ki omogoča samostojno detajlno polarno izmero – izmero, ki jo izvaja ena oseba, pa ima tahimeter z vgrajenima sistemoma za avtomatsko viziranje in sledenje tarči preveč tehničnih pomanjkljivosti. Z vgradnjo sistema za avtomatsko iskanje tarče postane želja po samostojni izmeri ene osebe realnost. Vendar še vedno obstajajo nekatere pomanjkljivosti: aktivne tarče, ki jih uporablja večina proizvajalcev, so namreč okorne, pri delu s pasivnimi tarčami pa je potrebna dodatna pozornost, saj so relativno nezanesljive.

Ideja o instrumentu *One Man Station* je v teoriji mamljiva, vendar je praktična realizacija detajlne izmere, ki bi jo opravila ena oseba, vprašljiva. Tudi če je elektronski tahimeter popolnoma avtomatiziran in ne potrebujemo operaterja na kraju, kjer se nahaja instrument, mu mora oseba, ki izvaja izmero, posredovati njegove osnovne naloge z daljinsko vodeno kontrolno enoto. Če domnevamo, da mora ista oseba obenem še ustrezno držati tarčo na togem grezilu in voditi terenski zapisnik oziroma skico izmere, dobimo občutek, da je dela za enega človeka preprosto preveč. Nerešljiv problem za vse sisteme višjih stopenj avtomatizacije je izmera ciljnih točk, ki jih s tarčo lahko samo približno signaliziramo (npr. vogal stavbe, na katerega prislonimo tarčo-središče tarče ni ciljna točka, ali tarča, ki se nahaja za grmovjem in je samo delno vidna). Naloge, ki operaterju sploh ne povzročajo težav, so za avtomatske tahimetre za zdaj nerešljiva uganka.

Avtomatski elektronski tahimetri torej (še) ne omogočajo optimalnega samostojnega dela ene osebe na terenu, kar pa ne pomeni, da višje stopnje avtomatizacije niso uporabne. Nasprotno – omogočajo reševanje nekaterih specifičnih nalog, ki z običajnimi elektronskimi tahimetri niso bile izvedljive, predvsem pa povečajo produktivnost, kar je vsekakor dovolj dober razlog za njihovo uporabo.

Literatura in viri:

- Bencič, D. (1990). *Geodetski instrumenti*. Zagreb: Školska knjiga.
- Chaves, M. (1999). *Geodimeter – The First Name in EDM*. *Professional Surveyor*. 19, 2.
<http://www.profsurv.com/archive.php?issue=29&article=394> (1. 3. 2008)

Čolić, K. (1974). Razvoj i značaj automatizacije mjerenja. V N. Francula, Zbornik radova Komisije za automatizaciju (str. 25–51). Zagreb: Savez geodetskih inženjera i geometara Hrvatske

Development of Robotic surveying Solutions. Spectra Precision.

<http://publications.ksu.edu.sa/Conferences/Business%20Briefing%20World%20Urban%20Economic%20Development%20in%202000/SPECTRA.PDF>

GPT-9000A/GTS-900A Robotic Total Stations System, Topcon Europe Positioning B.V.

<http://www.toconeurope.com/Leaflet%20GPT9000A-A4-euro-final.pdf>

Greenwood, J. A. (2001). Experiences With an Active Target Total Station for Precise Angle Measurement. *Professional Surveyor*. 21, 1.

<http://www.profsurv.com/archive.php?issue=49&article=685> (01. 03. 2008)

Kavanagh, B. F. (2007). *Surveying with construction applications. Sixth edition. Ohio, Pearson Education.*

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

SRX specifications. Ver. 1. 2006. Kanagawa, Sokkia CO.

<http://210.158.195.181/english/PDF/A243e.pdf> (22. 2. 2008)

Trimble S8 Total Station. 2007. Dayton, Trimble, Datasheet.

http://trl.trimble.com/docushare/dsweb/Get/Document-390412/022543-410_TrimbleS8_DS_0907_lr.pdf (12. 1. 2008)

Prispelo v objavo: 24. julij 2008

Sprejeto: 22. avgust 2008

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