

Univerza  
v Ljubljani  
Fakulteta  
*za gradbeništvo  
in geodezijo*

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



26202890

Kandidatka:

**Anita Vidic**

# **Sodobni elektronski tahimetri in geodetska terestična izmera**

**Diplomska naloga št.: 332**

**Mentor:**

izr. prof. dr. Dušan Kogoj

**Somentor:**

doc. dr. Simona Savšek

Ljubljana, 2010

## **STRAN ZA POPRAVKE, ERRATA**

<b>Stran z napako</b>	<b>Vrstica z napako</b>	<b>Namesto</b>	<b>Naj bo</b>
-----------------------	-------------------------	----------------	---------------

## **IZJAVA O AVTORSTVU**

Podpisana **ANITA VIDIC** izjavljam, da sem avtorica diplomske naloge z naslovom:  
**Sodobni elektronski tahimetri in geodetska terestična izmera.**

Izjavljam, da prenašam vse materialne avtorske pravice v zvezi z diplomsko nalogo na UL,  
Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo.

Ljubljana, februar 2011

---

(podpis)

## **BIBLIOGRAFSKO–DOKUMENTACIJSKA STRAN IN IZVLEČEK**

**UDK:** 528.53(043.2)  
**Avtorica:** Anita Vidic  
**Mentor:** izr. prof. dr. Dušan Kogoj  
**Somentorica:** doc. dr. Simona Savšek  
**Naslov:** Sodobni elektronski tahimetri in geodetska terestična izmera  
**Obseg in oprema:** 71 str., 4. pregl., 31. sl.  
**Ključne besede:** tahimeter, terestična detajlna izmera, sodobni elektronski tahimetri različnih proizvajalcev

### **Izveleček:**

Uporabnost sodobnih elektronskih tahimetrov pri geodetski terestični izmeri se povečuje z razvojem nove tehnologije. Vgrajena sodobna tehnologija bistveno poenostavi delo operaterja za instrumentom, v nekaterih primerih pa je izvedba geodetske terestične izmere mogoča tudi samo z njegovo prisotnostjo, saj je delovanje tahimetra popolnoma avtomatizirano. V diplomski nalogi je opisan razvoj geodetskih terestičnih instrumentov od teodolita do sodobnih elektronskih tahimetrov. Podrobneje so opisani izbrani sodobni elektronski tahimetri treh različnih proizvajalcev (Leica, Trimble in Topcon).

**BIBLIOGRAPHIC – DOCUMENTALISTIC INFORMATION**

**UDC:** 528.53(043.2)  
**Author:** Anita Vidic  
**Supervisor:** Assoc. Prof. Ph. D. Dušan Kogoj  
**Co-supervisor** Assist. Prof. Simona Savšek  
**Title:** Modern electronic total stations in geodetic terrestrial surveying  
**Notes:** 71 p., 4. tab., 31. fig.  
**Key words:** total station, terrestrial detailed surveying, modern electronic total stations of different manufactures

**Abstract:**

The usefulness of the modern electronic total stations in geodetic terrestrial surveying is increasing with the development of new technology. Built-in modern technology significantly simplifies the work of an operator. In some cases, the implementation of the geodetic terrestrial surveying is also possible only with the presence of the operator, as the activity of the total station is completely automated. This diploma paper describes the development of the geodetic terrestrial instruments from theodolites to modern electronic total stations. The selected modern electronic total stations of three manufactures (Leica, Trimble and Topcon) are also presented in details.

## **ZAHVALA**

Zahvaljujem se mentorju izr. prof. dr. Dušanu Kogoju za vso strokovno pomoč pri izdelavi diplomske naloge in somentorici doc. dr. Simoni Savšek predvsem za pomoč v času mentorjeve odsotnosti. Prav tako se zahvaljujem gospodu Boštjanu iz podjetja Gisdata za prijaznost in omogočeno izposojlo instrumenta Trimble VX Spatial Station.

Zahvalila bi se tudi mojim staršem za finančno in moralno podporo v času študija ter fantu Benjaminu, ki mi je ves čas stal ob strani.

## **KAZALO VSEBINE**

<b>1</b>	<b>UVOD</b>	<b>1</b>
<b>2</b>	<b>PREDSTAVITEV POJMA TAHIMETER</b>	<b>3</b>
<b>3</b>	<b>PREDSTAVITEV POJMA TERESTIČNA DETAJLNA IZMERA</b>	<b>5</b>
<b>3.1</b>	<b>Izvedba GNSS izmere za določitev koordinat točk izmeritvene mreže</b>	<b>10</b>
<b>3.2</b>	<b>GNSS in klasična terestična metoda izmere</b>	<b>13</b>
<b>3.3</b>	<b>Transformacija v državni koordinatni sistem</b>	<b>13</b>
<b>4</b>	<b>OD TEODOLITA DO SODOBNIH ELEKTRONSKIH TAHIMETROV</b>	<b>15</b>
<b>4.1</b>	<b>Teodolit</b>	<b>16</b>
<b>4.2</b>	<b>Elektrooptični razdaljemerji in prenos izmerjenih podatkov na računalnik</b>	<b>20</b>
<b>4.3</b>	<b>Avtomatizacija elektronskih tahimetrov</b>	<b>20</b>
<b>4.3.1</b>	<b>Tehnične osnove za razvoj elektronskih tahimetrov</b>	<b>26</b>
<b>4.3.1.1</b>	<b>Motorizacija tahimetra</b>	<b>26</b>
<b>4.3.1.2</b>	<b>Daljnogled elektronskega tahimetra</b>	<b>26</b>
<b>4.3.1.3</b>	<b>Daljinsko vodenje elektronskega tahimetra</b>	<b>27</b>
<b>4.3.2</b>	<b>Avtomatsko prepoznavanje tarče</b>	<b>28</b>
<b>4.3.2.1</b>	<b>AVT z uporabo CCD in CMOS senzorjev</b>	<b>30</b>
<b>4.3.3</b>	<b>Avtomatsko sledenje tarči</b>	<b>32</b>
<b>4.3.4</b>	<b>Avtomatsko iskanje tarče</b>	<b>32</b>
<b>4.3.5</b>	<b>Prvi avtomatski elektronski tahimeter</b>	<b>35</b>
<b>5</b>	<b>SODOBNI ELEKTRONSKI TAHIMETRI RAZLIČNIH PROIZVAJALCEV</b>	<b>37</b>
<b>5.1</b>	<b>Trimble VX Spatial Station</b>	<b>40</b>
<b>5.1.1</b>	<b>Predstavitev instrumenta</b>	<b>40</b>
<b>5.1.2</b>	<b>Opis prenosa izmerjenih podatkov na računalnik</b>	<b>48</b>
<b>5.2</b>	<b>Topcon GPT - 7000i</b>	<b>49</b>

---

<b>5.2.1</b>	<b>Predstavitev instrumenta</b>	<b>49</b>
<b>5.2.2</b>	<b>Opis prenosa izmerjenih podatkov na računalnik</b>	<b>52</b>
<b>5.3</b>	<b>Leica TS 30</b>	<b>54</b>
<b>5.3.1</b>	<b>Predstavitev instrumenta</b>	<b>54</b>
<b>5.4</b>	<b>Leica Viva TS 15</b>	<b>57</b>
<b>5.4.1</b>	<b>Predstavitev instrumenta</b>	<b>57</b>
<b>5.5</b>	<b>Leica SmartPole</b>	<b>59</b>
<b>5.5.1</b>	<b>Predstavitev instrumenta</b>	<b>59</b>
<b>5.5.2</b>	<b>Detajlna izmera s SmartPole in primerjava s klasično geodetsko in klasično GPS izmero</b>	<b>61</b>
<b>5.5.3</b>	<b>Opis prenosa izmerjenih podatkov na računalnik</b>	<b>63</b>
<b>6</b>	<b>PRIVZET PRIMER PREIZKUSA SISTEMA AVT</b>	<b>65</b>
<b>7</b>	<b>ZAKLJUČEK</b>	<b>69</b>
<b>VIRI</b>		<b>70</b>



## KAZALO PREGLEDNIC

Preglednica 1: Delitev teodolitov glede na natančnost (Deumlich F., Staiger R., 2002, stran 197)	17
Preglednica 2: Izbrani sodobni elektronski tahimetri in njihove značilnosti	37
Preglednica 3: Primerjave trajanja izvedbe ponovitve klasične in avtomatizirane polarne detajlne izmere (Mataija Valh M., Marjetič A., Ježovnik V., Kogoj D.; 2009; stran 15)	66
Preglednica 4: Odstopanja od referenčnih koordinat in ocenjeni standardni odkloni koordinat detajlnih točk (Mataija Valh M., Marjetič A., Ježovnik V., Kogoj D.; 2009; stran 16)	66

**KAZALO SLIK:**

Slika 1: Razvoj elektronskih tahimetrov proizvajalca Leica	16
Slika 2: Teodolit ( <a href="http://sl.wikipedia.org">http://sl.wikipedia.org</a> )	17
Slika 3: Mehanski teodolit iz leta 1890 ( <a href="http://www.geof.hr">http://www.geof.hr</a> )	18
Slika 4: Optično – mehanski teodolit Wild T2, ki je omogočal 1 sekundno odčitavanje (Štular S., 2008, stran 6)	19
Slika 5: Elektronski teodolit Leica TM5100A ( <a href="http://www.hexagonmetrology.eu">www.hexagonmetrology.eu</a> )	20
Slika 6: Tellurometer Model M/RA1 ( <a href="http://celebrating200years.noaa.gov">http://celebrating200years.noaa.gov</a> )	22
Slika 7: Povečanje natančnosti elektronskih razdaljemerov (Kogoj D., 2005, stran 10)	23
Slika 8: Posebna 360° prizma ( <a href="http://www.surveyequipment.com">www.surveyequipment.com</a> )	28
Slika 9: Metoda grobega viziranja tarče – spiralna pot po kateri instrument skuša poiskati tarčo ( <a href="http://www.geoservis.si">www.geoservis.si</a> )	29
Slika 10: Metoda finega avtomatskega viziranja tarče z detekcijo maksimalne intenzitete povratnega signala	29
Slika 11: Slika odbitega signala in določitev točke maksimalne radiometrične vrednosti (Mataija Valh M., 2008)	31
Slika 12: Topomat (Mataija Valh M, 2008)	36
Slika 13: Trimble VX Spatial Station	41
Slika 14: Prikaz funkcije Trimble VISION (video način)	42
Slika 15: Na ekranu lahko direktno opazimo grobo napako, kot je npr. višina prizme	42
Slika 16: Funkcija FineLock	43
Slika 17: Funkcija SurePoint	44
Slika 18: Funkcija AutoLock	45
Slika 19 in Slika 20: Prikazujeta 3D skeniranje	46
Slika 21: Prikazuje funkcijo GPS Search	47
Slika 22: Topcon GPT – 7000i ( <a href="http://www.benchmarksupply.com">www.benchmarksupply.com</a> )	52
Slika 23: Piezzo pogon ( <a href="http://www.geoservis.si">www.geoservis.si</a> )	54
Slika 24: Prikaz sistema za merjenje kotov pri Leici TS30 ( <a href="http://www.geoservis.si">www.geoservis.si</a> )	55
Slika 25: Leica TS 30 ( <a href="http://www.geoservis.si">www.geoservis.si</a> )	56
Slika 26: Leica Viva TS15 ( <a href="http://www.geoservis.si">www.geoservis.si</a> )	58
Slika 27: Leica Viva TS15 ( <a href="http://www.geoservis.si">www.geoservis.si</a> )	58

Slika 28: Leica SmartPole ( <a href="http://www.geoservis.si">www.geoservis.si</a> )	60
Slika 29: Leica SmartPole ( <a href="http://www.geoservis.si">www.geoservis.si</a> )	60
Slika 30: Klasičen način izmere ( <a href="http://www.geoservis.si">www.geoservis.si</a> )	61
Slika 31: "Smartpole" način izmere ( <a href="http://www.geoservis.si">www.geoservis.si</a> )	62



## 1 UVOD

Tehnologija v zadnjih desetletjih hitro napreduje, tako v geodetski kot tudi v drugih strokah. V geodetski stroki je najbolj viden zelo hiter razvoj elektronskih tahimetrov oziroma instrumentov, pa tudi razvoj novih metod izmere.

Avtomatski elektronski tahimetri predstavljajo trenutno najvišjo razvojno stopnjo klasičnih geodetskih instrumentov. Vgrajena sodobna tehnologija bistveno poenostavi delo operaterja za instrumentom, v nekaterih primerih pa je izvedba geodetske terestrične izmere mogoča tudi samo z njegovo prisotnostjo, saj je delovanje tahimetra popolnoma avtomatizirano. Razvoj geodetskih instrumentov omogoča odpravo vseh vrst instrumentalnih pogreškov, pogreškov operaterja in avtomatizacijo merskih postopkov. Instrumenti so postali natančnejši, enostavnejši za uporabo ter omogočajo hitrejše delo.

Za razvoj geodetskih metod izmere je izrednega pomena razvoj satelitske geodezije, ki omogoča določanje položaja točk na Zemlji s pomočjo umetnih satelitov. GNSS (globalni navigacijski satelitski sistem) omogoča nekaj centimetrsko natančnost. Nove geodetske merske tehnike v kombinaciji z avtomatiziranim načinom merjenja in obdelave podatkov nadomeščajo klasične terestrične metode izmere, ki so odvisne predvsem od pogojev 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 potrebno usmeriti razvoj terestrične izmere v avtomatizacijo merskih postopkov.



## **2 PREDSTAVITEV POJMA TAHIMETER**

Tahimeter je instrument za neposredno merjenje polarnih koordinat z namenom določitve horizontalnega položaja novih detajlnih točk v ravnini projekcije in nadmorske višine teh točk. Polarne koordinate so sestavljene iz merjene horizontalne smeri, vertikalnega kota ter poševne dolžine proti točki.

Tahimeter je sestavljen iz dveh nekdanj ločenih merskih instrumentov oziroma modulov, instrumenta za merjenje horizontalnih smeri in vertikalnih kotov oziroma teodolita ter instrumenta za merjenje dolžin oziroma razdaljemera. Konstrukcijo tahimetra določata optična in elektronska zgradba ter tehnične lastnosti obeh instrumentov (Benčič, 1990).

Razdaljemer daje tahimetru osnovne karakteristike, zato ločimo dve osnovni skupini tahimetrov: optični tahimeter (kombinacija teodolita in optičnega razdaljemera) in elektronski tahimeter (kombinacija teodolita in elektrooptičnega razdaljemera). V elektronskih tahimetrih so poleg dveh osnovnih merskih instrumentov še druge, za delovanje nujno potrebne enote kot so vir energije, pomnilniški medij, mikroprocesor. V zadnjih 20-ih letih so elektronski tahimetri popolnoma izrinili optične tahimetre (Benčič, 1990).

Tahimetri se razlikujejo tudi glede na to, ali se oba merska instrumenta (teodolit in razdaljemer) lahko uporabljata samostojno ali pa sta merska modula združena v enem ohišju in ju ne moremo uporabljati ločeno. V prvem primeru govorimo o kombiniranih v drugem primeru pa o integriranih tahimetrih (Benčič, 1990).

Kombinirani elektronski tahimetri so se v praksi uporabljali predvsem med leti 1970 in 1985. Z razvojem so integrirani elektronski tahimetri praktično povsem izrinili kombinirane elektronske tahimetre in jih danes skoraj ne zasledimo več. Integriranim elektronskim

tahimetrom se vzporedno z razvojem izboljšujejo procesorske lastnosti, večajo merske in računske zmožnosti ter obdelava in analiza opazovanj. K izboljšanju elektronskih tahimetrov so pripomogle številne izboljšave kot so: merjenje dolžin brez uporabe reflektorja, večanje kapacitete in manjšanje dimenzij pomnilniških medijev, večanje procesorskih zmožnosti mikroprocesorjev, razvoj dvoosnih kompenzatorjev. Tako opremljeni merski sistem je prerasel okvir ideje tahimetra in postal univerzalni geodetski instrument, za katerega se je uveljavil angleški izraz *total station*<sup>1</sup>. V Sloveniji je še vedno najbolj uveljavljen izraz elektronski tahimeter, ki je nastal s slovenjenjem nemškega izraza *elektronische Tachymeter*<sup>2</sup>, vse bolj pa ga nadomešča samo termin tahimeter (Mataija Valh, 2008).

---

<sup>1</sup> ang. totalna postaja

<sup>2</sup> nem. elektronski tahimeter



### **3 PREDSTAVITEV POJMA TERESTIČNA DETAJLNA IZMERA**

Klasična terestična numerična detajlna izmera pomeni zajemanje numeričnih koordinat detajlnih točk v lokalnem polarnem in ortogonalnem koordinatnem sistemu. Detajlne točke pa so točke, ki definirajo položaj in obliko naravnih in zgrajenih objektov, linij, površin...

Namen detajlne izmere je prikaz dejanskega stanja v naravi, na načrtu. Snemajo se vse karakteristične točke na terenu (objekti, komunikacije, vodotoki, meje kultur, posestne meje...). Posneti moramo toliko detajlnih točk, da bomo z njihovo povezavo na načrtu dobili dejanski objekt, komunikacijo oziroma čim boljši približek dejanskega stanja v naravi. Za natančen in pravilen prikaz detajla na načrtu moramo vedeti, kaj vse zajemamo in kako snemamo detajl, da bo načrt ustrezal namenu uporabe in zahtevani natančnosti.

Pri stavbah snemamo vogale stavb in sicer tam, kjer se stavba stika s terenom. Izmeriti moramo tudi kontrolne mere (fronte) objekta. Izmerimo jih z merskim trakom ali ročnim razdaljemerom in zapišemo v skico izmere. V načrtu moramo prikazati namen stavbe (stanovanjska, gospodarska, poslovna, garaža...). Vsako stavbo snemamo posebej, četudi se stavbe dotikajo druga druge. Ločimo tudi isto stavbo, če služi dvema ali več namenom. V primeru, ko se stavba ne stika s terenom (je na stebrih, podhod) posnamemo stebre ali ostale dele stavbe, ki se stikajo s terenom. Ostalo pa posnamemo kot projekcijo tlorisa na teren in v načrtu prikažemo črtkano. Za izris načrta v merilu 1 : 500 posnamemo tudi zunanja stopnišča, svetlobne jaške, terase in druge detajle. Stavbe iz slabega materiala, ki so brez temeljev, ne snemamo. Ruševine pa snemamo, če so zidovi ohranjeni in trdni. Stavbe v gradnji posnamemo v primeru, da so temelji pozidani. Nepisano pravilo je, da moramo na terenu posneti vse tiste objekte, ki jih bomo na načrtu lahko kartirali.

Pri krivih linijah detajla snemamo točke, kjer se krivine lomijo. Pomembna je primerna gostota teh točk, ki ponazarjajo krivino. Razdalja med temi točkami mora biti najmanj tolikšna, da daljica dveh sosednjih točk ne odstopa od krive linije, ki jo daljica aproksimira (več kot 0,2 mm pomnoženo z merilom načrta).

Prometne objekte praviloma snemamo po prečnih profilih. Gostota prečnih profilov mora biti takšna, da lahko v načrtu prikažemo pravilni potek prometnega objekta. Ob predpostavki, da je krivina pravilna, so za njeno konstrukcijo potrebni vsaj trije profili in sicer na začetku v sredini in na koncu krivine. Za načrte v merilih 1:500 razdalje med profili ne smejo presegati 50m. Profile je potrebno posneti tudi za prikaz vertikalnih lomov prometnega objekta. V posameznem profilu posnamemo karakteristične točke profila ceste ali železnice. Te točke so: začetek, rob, vrh, dno nasipa ali vkopa, robovi vozišča in osi tirnic. Poleg profilov snemamo tudi odtočne jarke, prepuste, prometno signalizacijo, železniške kamne, telefonske oziroma električne stebre... Točkovne elemente snemamo z eno točko in jih v načrtu prikažemo s topografskim znakom. Gozdne ali poljske poti snemamo po robu in izmerimo njeno širino. Tudi manjše odvodne jarke in manjše nasipe snemamo z eno točko. Izmerimo širino in globino jarka ter širino in višino nasipa. Ob prometnih objektih stojijo tudi podporni zidovi, ki jih posnamemo po zgornjem ali spodnjem robu pod pogojem, da je zid bolj ali manj vertikalni, v skico pa vpnemo njegovo višino. Če ni vertikalni, posnamemo oba robova.

Če je možno vode snemamo ob nizkem vodostaju. Pri kopenskih vodah poleg točke ob vodni gladini posnamemo tudi točke na robu rečnega ali jezerskega korita. Pri morskih vodah poleg oseke posnamemo tudi črto gladine morja ob plimi ter črto, do katere sežejo valovi. Kraška polja snemamo v sušnem obdobju. Prav tako snemamo hudourniške grape, izvire in vodnjake.

Poleg detajlnih točk, ki ponazarjajo sam potek vode, snemamo tudi objekte, povezane z vodo. To so pomoli, marine, valobrani, mostovi, jezovi itd. Mostove snemamo tako, da posnamemo vse karakteristične točke. Posnamemo, kje se most stika s kopnim, posnamemo podporne stebre mostu. Stebre mostu, ki so v vodi, odmerimo po osi mostu, lahko pa jih tudi

posnamemo, če imamo na voljo tahimeter z razdaljemerom, ki meri dolžine tudi brez reflektorja (Zupančič, 2010).

Pri detajlni izmeri je zelo pomembna izbira točk za višinsko predstavo, saj moramo v načrtu pokazati potek terena. Najprej posnamemo značilne točke na grebenu in v dolini. Med njimi posnamemo značilne točke prelomov na padnicah in prevojnica. Razdalja med detajlnimi točkami je odvisna od merila načrta. Tudi tu velja pravilo za snemanje krivih linij kot pri snemanju tlorisa objektov matematičnih oblik. Velja pravilo, če je razdalja med tetivo in linijo terena manjša od 0,2- kratnika ekvidistance plastnic, vmesne točke ni potrebno posneti. Kadar imamo teren z majhnim naklonom si pomagamo tako, da posnamemo teren po profilih. Gostota profilov je odvisna od razgibanosti terena. Za predstavo terena je potrebno posneti tudi točke, ki ponazarjajo meje kultur (Kogoj, Stopar, 2001).

Poznani in splošno uveljavljeni metodi detajlne izmere:

1. ortogonalna metoda (direktno merimo relativne pravokotne koordinate detajlnih točk)
2. polarna metoda oziroma *tahimetrija*<sup>3</sup> (direktno merimo relativne prostorske koordinate detajlnih točk).

Pri obeh na terenu opravimo meritve v tako imenovanem merskem prostoru.

Najbolj pogosta metoda detajlne terestične izmere je polarna metoda izmere oziroma tahimetrija, kjer se položaj točk določi na osnovi merjenja smeri in dolžin (merski prostor), čemur sledi izračun kartezičnih (koordinatni prostor) koordinat (y, x, h). Koordinatni sistem določa stojišče instrumenta (točka izmeritvene mreže ali prosto stojišče) in ena ali več orientacijskih smeri (točke izmeritvene mreže). V današnjem času je polarna metoda praktično edina uporabljena metoda klasične detajlne izmere.

---

<sup>3</sup> beseda izvira iz grščine in pomeni "hitro merjenje"

Ortogonalna detajlna izmera je dandanes uporabljena le v izjemnih primerih in sicer, kadar se zahteva največja natančnost izmere. Horizontalni koordinatni sistem določa merska linija (točki izmeritvene mreže). Pri meritvah se uporablja teodolit, bazno lato ter dodatni pribor. Višino detajlne točke določimo z detajlnim nivelmanom. Ta metoda se uporablja predvsem v inženirski geodeziji.

V preteklosti so se za tahimetrijo uporabljali:

- reichenbachov razdaljemer ali trinitni tahimeter in nivelmansko lato
- avtoredukcijski tahimeter in lato z reperjem
- optični razdaljemer

Detajlno izmero izvajamo z natančnimi elektronskimi tahimetri, ki hkrati zajemajo tri prostorske količine (H-kot, V-kot, poševna dolžina). Pred razvojem elektronskih tahimetrov se je za izmero uporabljalo teodolit in optični razdaljemer. Danes pa je elektronski tahimeter nepogrešljiv instrument pri izmeri terena s polarno metodo. Z sodobnimi elektronskimi tahimetri lahko detajlno izmero izvaja manj ljudi kot v preteklosti. S sistemom za prepoznavanje reflektorja in možnostjo krmiljenja instrumenta preko radijske zveze teoretično lahko izmero izvaja celo en sam človek.

Natančnost polarne izmere je podana z natančnostjo smernega kota in dolžine. Obe natančnosti morata biti usklajeni. Natančnost dolžine nam definira pogrešek v smeri proti detajlni točki, natančnost horizontalne smeri pa pogrešek pravokotno na smer proti točki. Če poznamo natančnost merjenja dolžin in kotov, lahko izračunamo, do katere razdalje lahko snemamo točke, da pogrešek, ki ga povzroči natančnost kota, ne presega pogreška nenatančnosti merjenja dolžin. Običajno so maksimalne dolžine, do katerih lahko snemamo posamezne vrste detajlnih točk, predpisane (Kogoj, Stopar, 2001).

Meritve terestične detajlne izmere:

Pri meritvah je torej najbolj smiselno uporabljati elektronske tahimetre, ki omogočajo istočasen zajem vseh treh merskih podatkov (horizontalnih smeri, zenitne razdalje in poševne dolžine). Metoda izmere je kombinacija kotnih in dolžinskih meritev (triangulacija in trilateracija). Višinske razlike pa določimo po metodi trigonometričnega višinomerstva. Ob uporabi teh metod je zagotovljena eliminacija večine instrumentalnih pogreškov. Ostale pogreške kot so objektivni pogreški okolja (centriranje, signalizacija itd.) in subjektivni pogreški operaterja (viziranje) pa poskušamo eliminirati z izbiro optimalnih pogojev okolja in z previdnostjo pri delu.

Zagotoviti moramo pogoje za merjenje, kar pomeni stabilizacijo in signalizacijo točk izmeritvene mreže na način, ki nam omogoča nemoteno meritev z vsakega stojišča. Ko imamo točke stabilizirane, instrument in reflektor privijemo na vijak in ga horizontiramo. Ko pa imamo točko stabilizirano na tleh, je potrebno instrument in reflektor centrirati nad točko. Centriranje izvedemo s pomočjo optičnega, laserskega ali togega grezila. Instrument in reflektor pa privijemo na stativo, ki so med izmero fiksni. Trinožni podstavek, pritrjen na stativ, nam omogoča prisilno centriranje. Tako lahko instrument ali reflektor zamenjamo brez odstranitve trinožnega podstavka. V primeru, ko točka ni fizično označena, stojiščno točko določa presečišče x in y osi tahimetra.

Detajlno izmero praviloma opravljajo najmanj trije ljudje. Najbolj izkušen je vodja izmere, ki riše detajlno skico, drugi je operater na instrumentu, tretji pa je figurant. Detajlno skico vodimo pri vsaki izmeri terena. S skico merjenim detajlnim točkam določimo attribute, na osnovi katerih pri pretvorbi numeričnih podatkov v grafično obliko identificiramo točke. Vanjo vrišemo vse detajle, ki jih snemamo, saj na osnovi podatkov, ki so narisani in napisani na skici in na osnovi merskih podatkov, izdelamo geodetske načrte. Operater vodi zapisnik o izmeri na elektronskem mediju elektronskega tahimetra. Figurant mora postavljati togo grezilo z reflektorjem vertikalno.

Detajlno izmero začnemo na geodetski točki (poligonska točka, točka izmeritvene mreže), na katero operater postavi instrument ter z ročnim merskim trakom izmeri višino instrumenta. Istočasno vodja izmere skicira teren. Če uporabljamo sodoben elektronski tahimeter, je vodja izmere istočasno operater za instrumentom, saj instrument sproti z vsako izmerjeno kodirano točko izrisuje skico izmere. Naslednja faza je postopek orientacije izmere. To je vklop izmere v izmeritveno mrežo oziroma državni koordinatni sistem. Po končanem postopku orientacije (merjenje dveh ali več orientacijskih smeri) začnemo z detajlno izmero. Vodja izmere usmerja figuranta na začetno detajlno točko, ki jo izbere in jo v skici označi z 1. Isto številko registrira operater v zapisnik na elektronskem mediju. Operater navizira reflektor s tarčo ter sproži merjenje. Horizontalni in vertikalni kot, horizontalno dolžino ter številko detajlne točke shrani v zapisnik. Figurant mu sporoči višino reflektorja. Vodja izmere določa detajlne točke, ki so pomembne za horizontalno in višinsko predstavo terena. Pri tem mora biti pazljiv, da kakšne pomembne točke ne izpusti. Številke detajlnih točk se morajo na skici in v zapisniku ujemati, zato se morata vodja izmere in operater med izmero kontrolirati. Pri uporabi sodobnega elektronskega tahimetra, ki sočasno z merjenjem riše skico, to ni potrebno, saj je operater in vodja izmere ista oseba oziroma to opravi instrument samostojno. Med izmero moramo tudi kontrolirati stabilnost stativa instrumenta. To kontrolo je priporočljivo izvesti na 10 – 20 detajlnih točk. Pri tej kontroli naviziramo na orientacijsko točko oziroma na eno vezno točko, ki smo jo na začetku navizirali in zapisali odčitek horizontalnega kroga. Kontrolni in začetni odčitek se ne smeta razlikovati za več kot je dopustno odstopanje glede na zahteve izmere. Če se odčitka ne ujemata moramo ponovno izmeriti vse točke od zadnje kontrole. Pred selitvijo na novo stojišče instrumenta pa z merskim trakom ali ročnim razdaljemerom izmerimo kontrolne mere (razdalje med mejniki, dolžine in širine stavb...).

### **3.1 Izvedba GNSS izmere za določitev koordinat točk izmeritvene mreže**

Izbira metode merjenja horizontalnih kotov je odvisna od namena meritev in zahtevane natančnosti. Meritve izvajamo v dveh krožnih legah, saj tako eliminiramo instrumentalne pogoške, lažje nadziramo grobe pogoške in povečujemo natančnost meritev. Osnova vsem danes uporabljenim metodam je girusna metoda. Merjenje se izvaja v več ponovitvah, vendar

minimalno v dveh ponovitvah (dva girusa). Rezultat meritev so reducirane smeri, ki so med seboj odvisne vrednosti, obremenjene s pogreškom začetne smeri. Ena najbolj natančnih metod je Schreiberjeva metoda. S to metodo merimo kombinacijo kotov med smermi na posameznem stojišču, kjer vsak kot med dvema smerema merimo ločeno po girusni metodi. Medtem ko pri merjenju zenitnih razdalj nimamo možnosti izbire metode. Potrebno je opraviti dovolj velik niz meritev. Pri izvajanju meritev z elektronskim tahimetrom, ki nam omogočajo avtomatsko registracijo, merimo zenitne razdalje sočasno z merjenjem horizontalnih smeri v obeh krožnih legah v vsakem girusu, istočasno se opazujejo tudi dolžine. Za zmanjšanje vpliva vertikalne refrakcije je potrebno izvesti meritve v obeh smereh (tja – nazaj). Dolžine se tako merijo v najmanj štirih ponovitvah, kar zadostuje potrebam po minimalnih ponovitvah.

Za vzpostavitev izmeritvene mreže moramo poznati postopke od zagotovitve mreže, njene izmere do izračuna in ocene rezultatov. Pri vzpostavitvi moramo poznati vrste, oblike in dimenzije mreže. Izmeritveno mrežo navežemo na točke navezovalne mreže ter jo vklopimo v novi koordinatni sistem. Za izmero mreže so potrebni ustrezni pogoji za merjenje ter ustrezen instrumentarij, ki mora ustrezati zahtevani natančnosti izmere mreže. Tako pri izmeri mreže kot tudi pri detajlni izmeri mora biti merska oprema preizkušena in umerjena pri pooblaščenem servisu vsaj enkrat letno. Po izmeri pa je potrebno podatke obdelati in prikazati merske vrednosti.

Vzpostavimo lahko:

➤ Trigonometrično mrežo

To naredimo z uporabo metod triangulacije, trilateracije in trigonometričnega višinerstva. Če želimo zagotoviti ustrezno kakovost mreže je potrebno upoštevati pravila projektiranja trigonometrične mreže v horizontalnem in višinskem smislu. V mreži mora biti ustrezno število povezav, da zagotovimo dovolj veliko število nadštevilnih meritev. Vsaka točka v mreži mora biti povezana z vsaj tremi točkami, torej morajo biti z vsake točke opazovane vsaj tri točke izmeritvene mreže. Dolžina povezav med točkami naj ne presega 1 km. Izmeritvena mreža mora biti vklopljena in

mora vsebovati vsaj tri točke navezovalne mreže. Pred izmero je dobro, da se opravi predhoden ogled terena (rekognosciranje terena), kjer odkrivamo točke obstoječe mreže in določamo mikrolokacijo novih točk. Ko določamo mikrolokacijo novih točk, je potrebno upoštevati določena pravila, in sicer možnost realizacije povezav, varnost točke pred uničenjem v primeru trajne stabilizacije, lokalno stabilnost ter zagotoviti možnost snemanja detajla. Stabilizacija točk je lahko trajna ali začasna.

➤ Poligonsko mrežo

Zagotovimo jo v primerih, ko trigonometrična mreža ni možna. Poznamo tri vrste poligonov in sicer: priklepni, zaključeni in slepi. Običajno vzpostavimo priklepni poligon, v izjemnih primerih zaključenega, medtem ko slepega ne vzpostavljamo, saj ni možna izravnava poligona. Izravnava je nujno potrebna za vzpostavitev poligona. Pri vlečenju poligona se moramo držati nekaterih pravil. Poligon naj bo čim bolj iztegnjen. Poligonske stranice naj ne bodo daljše od 250m in ne krajše od 50m. Poligon naj bo navezan z najmanj dvema orientacijama na dani točki. Dolžine stranic so enakomerne dolžine in ustrezajo razmerju med najdaljšo in najkrajšo 2:1 do 3:1.

Točke izmeritvene mreže so osnova za nadaljnjo detajlno izmero. Poleg klasične terestične detajlne izmere, se vse bolj uveljavlja tehnologija GNSS. Zadnje čase se v praksi najbolj uporablja kombinacija terestične izmere in izmere GNSS.

Pri detajlni izmeri imamo lahko prosto stojišče, kjer se navežemo na najmanj dve znani točki ali pa imamo stojišče na znani točki izmeritvene mreže. Predpostavljamo, da je za dovolj kvalitetno detajlno izmero potrebno vzpostaviti niz točk izmeritvene mreže. Izmeritveno mrežo vzpostavimo tudi, kadar nimamo na voljo dovolj trigonometričnih ali poligonskih točk v okolici za izvedbo detajlne izmere. Vsaka točka izmeritvene mreže mora biti izmerjena in izračunana, čeprav je mreža sestavljena iz obstoječih trigonometričnih in poligonskih točk.



Med izmero izmeritvene mreže je potrebno izmeriti tudi višino instrumenta in reflektorja ter meteorološke parametre. Višino instrumenta izmerimo z žepnim merskih trakom v dveh neodvisnih merjenjih in vrednost odčitamo na milimeter natančno. Tlak in temperaturo je potrebno izmeriti na stojišču instrumenta. Izmerimo ju z barometrom in termometrom. Podatke o višini instrumenta, vrsti in višini reflektorja in meteorološke parametre si lahko zapišemo v zapisnik in jih upoštevamo v postopku naknadne obdelave ali pa jih vnesemo v tahimeter (Zupančič, 2010).

### **3.2 GNSS in klasična terestična metoda izmere**

Kombinirana uporaba GNSS izmere in klasične terestične izmere je v praksi običajna in pogosta, saj je enostavna za uporabo in omogoča hitro pridobivanje podatkov. Potrebna je previdnost pri določitvi kriterijev za izvedbo klasične terestične izmere, ki obsega natančnost merske opreme, vzpostavitev izmeritvene mreže, metode in obseg meritev, obdelavo in prikaz merskih vrednosti s potrebnimi redukcijami, izmero detajla, izravnavo ter izračun cenilk natančnosti.

### **3.3 Transformacija v državni koordinatni sistem**

V Zakonu o evidentiranju nepremičnin (Uradni list RS, št. 47/2006) je določeno, da je potrebno z letom 2008 vse spremembe obstoječih točk in koordinate novih zemljiško katastrskih točk določiti v novem državnem koordinatnem sistemu D96 (ETRS89). Zato je potrebno tudi točke izmeritvene mreže vklopiti v nov državni koordinatni sistem. Vklop naredimo preko novo izmerjenih točk državne mreže.

Poznamo več načinov, s katerimi lahko vklopimo mrežo v nov koordinatni sistem in sicer:

Kadar so točke navezovalne mreže obstoječe točke državne mreže, izmere GNSS ni potrebno izvajati, saj le te točke izmerimo na klasičen način s triangulacijo in trilateracijo. Izmeritveno mrežo izravnamo kot prosto mrežo s transformacijo na točke navezovalne mreže. Nato novo pridobljene koordinate točk transformiramo v novi državni koordinatni sistem D96 (ETRS89). Za transformacijo uporabimo lokalne transformacijske parametre. Tega načina se izogibamo, saj natančnost koordinat obstoječe državne mreže ni dokazljiva, zato natančnost ne zadošča za detajlno izmero z nekaj centimetrsko natančnostjo.

Kadar so točke navezovalne mreže hkrati obstoječe točke državne mreže, jih le dodatno izmerimo z GNSS izmero. Izmeritvena mreža je izmerjena na klasični način tako, da so izmerjene najmanj tri točke obstoječe državne mreže, ki so določene z metodo GNSS. Izmeritveno mrežo izravnamo kot vklopljeno mrežo ob upoštevanju vseh meritev in pridobljenih koordinat navezovalnih točk z GNSS. Pri tem načinu lahko izvedemo primerjavo klasičnih meritev in meritev GNSS, obenem pa lahko izračunamo natančnejše lokalne transformacijske parametre ter jih primerjamo z obstoječimi. Ta način je najboljši in najnatančnejši, vendar je tudi najdražji.

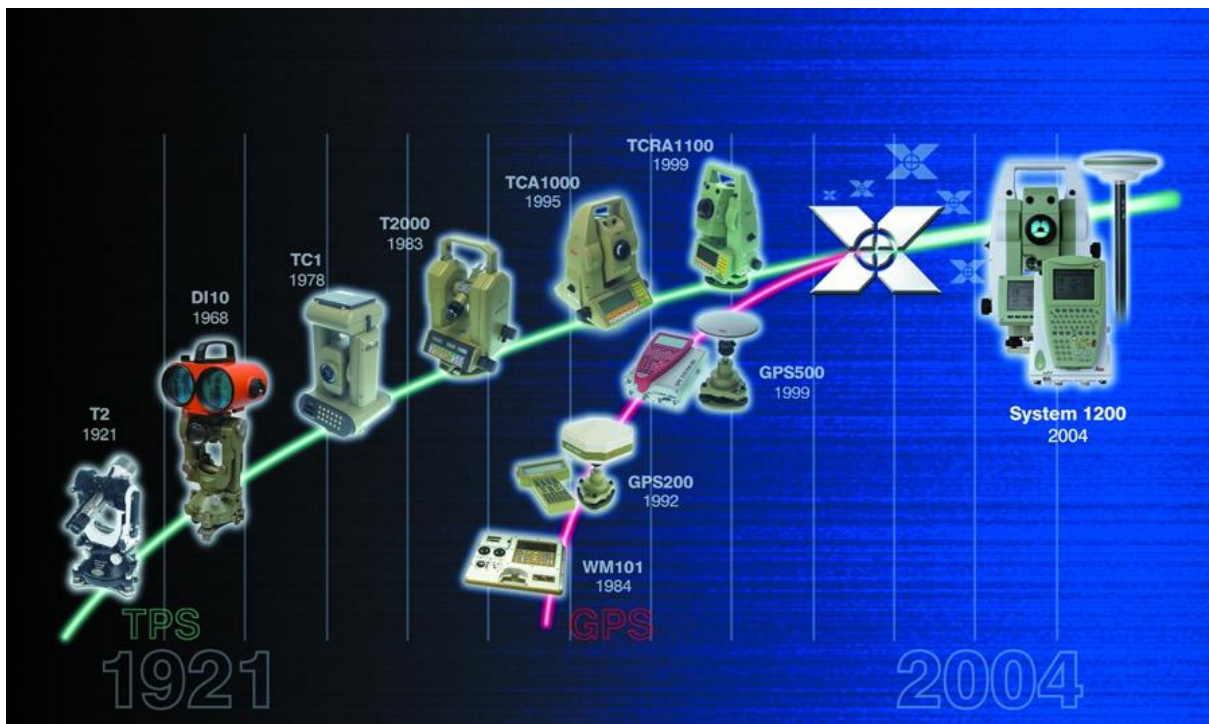
Kadar so točke navezovalne mreže obstoječe točke GNSS se izmeritvena mreža prav tako izmeri na klasični način s triangulacijo in trilateracijo. Točke navezovalne mreže so že podane v novem koordinatnem sistemu D96 (ETRS 89). Izmeritveno mrežo prav tako izravnamo kot vklopljeno mrežo. Način omogoča primerjavo GPS in klasičnih terestičnih meritev navezovalne mreže. Točke izmeritvene mreže so lahko stabilizirane z začasno stabilizacijo. Pri ponovni detajlni izmeri na obravnavanem območju je potrebna ponovna vzpostavitev izmeritvene mreže (Zupančič, 2010).

## **4 OD TEODOLITA DO SODOBNIH ELEKTRONSKIH TAHIMETROV**

Z razvojem civilizacije se je razvijala tudi geodezija, in z njo potreba po sodobni opremi in instrumentih. Prve naprave so uporabljali za preverjanje horizontalnosti in vertikalnosti linij. Za merjenje dolžine so uporabljali palice in vrvice. Z odkritjem naprednejših materialov in razvojem optičnih pripomočkov, so konec 18. stoletja razvili prvi instrument, ki je imel obliko kakršno poznamo še danes.

Prvi teodoliti niso bili vsem dostopni in so bili težki tudi do dveh ton in pol. Popolni razvoj pa doživijo v 20. stoletju, ko nastanejo prvi moderni lahko prenosljivi teodoliti dostopni širši množici uporabnikov tahimetrov. V drugi polovici prejšnjega stoletja se je z lansiranjem prvega satelita geodezija obrnila k novim GPS tehnologijam (Štular, 2008).

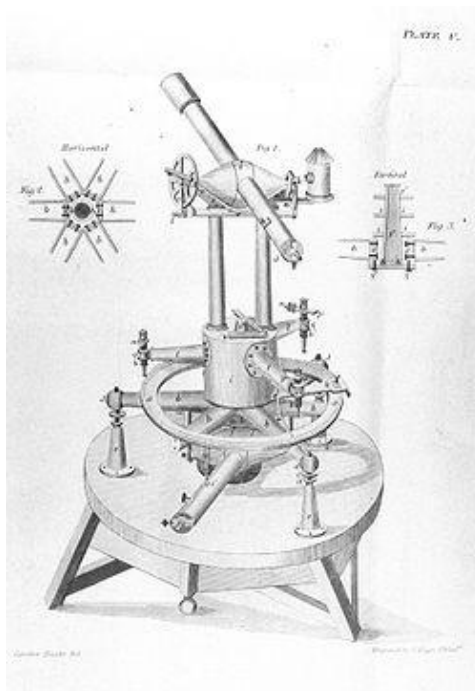
Področje geodezije je zaznamoval prehod na uporabo najsodobnejših tehnologij za natančnejšo in učinkovitejšo geodetsko izmero in zajema podatkov o prostoru. S tem smo ponekod pretrgali vez s preteklostjo, ki je trajala nekaj desetletij. Za določanje položaja točk se stari instrumenti večinoma ne uporabljajo več, tehnologija globalnih navigacijskih satelitskih sistemov jih je tako rekoč čez noč postavila v kot in nenadoma so postali brez vrednosti (Mataija Valh M., Marjetič A., Ježovnik V., Kogoj D., 2009).



Slika 1: Razvoj elektronskih tahimetrov proizvajalca Leica

#### 4.1 Teodolit

Prvi opis teodolita ('theodelitus') lahko najdemo v zemljemerskem učbeniku *Pantometria* iz leta 1571. Učbenik je napisal angleški astronom Thomas Digges, sin Leonarda Diggesa, matematika in geodeta, kateremu pripisujejo tudi izum te priprave.



Slika 2: Teodolit (<http://sl.wikipedia.org>)

Teodolit sodi med najpogosteje uporabljene instrumente v praktični geodeziji. Z njim se ne merijo samo koti, temveč se določa tudi položaj točk v liniji ali ravnini, njegovo uporabnost lahko razširimo z različnimi dodatki. Poznamo teodolite različnih velikosti, mase in natančnosti. Natančnost je eden od osnovnih kriterijev za uporabo instrumenta v praktični geodeziji. Teodolite po natančnosti razvrstimo v štiri skupine (Deumlich F., Staiger R., 2002):

**Preglednica 1:** Delitev teodolitov glede na natančnost (Deumlich F., Staiger R., 2002, stran 197)

Teodolit	Razred	Natančnost
najvišje natančnosti	1	$\leq 1$ mgon
	2	0,11...0,5 mgon
visoke natančnosti	3	0,26...0,50 mgon
srednje natančnosti	4	0,51...2,0 mgon
nizke natančnosti	5	2,1...5,0 mgon
	6	$> 5$ mgon

Drugi kriterij za razdelitev teodolitov pa temelji na osnovi njegove zgradbe, posebno kroga in načina določitve odčitkov na krogu. Razlikujemo:

- optično - mehanski teodolit,
- elektronski ali digitalni teodolit.

Leta 1730 je Anglež John Sisson izumil prvi *mehanski teodolit*<sup>4</sup>, katerega osnovne karakteristike so bile zelo podobne današnjim teodolitom. S številnimi izboljšavami so Short, Adams in Ramsden konec 18. stoletja izdelali prve prave mehanske teodolite. Mehanski teodoliti so se skozi stoletja neprestano izboljševali, še posebej kvaliteta mehanskih delov, optika daljnogleda in natančnost libel.



Slika 3: Mehanski teodolit iz leta 1890 (<http://www.geof.hr>)

V prvi polovici 20. stoletja pa jih začnejo izpodrinjati t.i. optični teodoliti. Pri teh teodoliti navadne kovinske limbe s stopinjsko ali gonsko razdelbo zamenjajo stekleni limbi. Le-ti omogočijo kompleksnejšo zgradbo mikroskopa za odčitavanje kotov in prenos slike limba na ustrežnejše mesto ter uporabo natančnejših optičnih mikrometrov (Čolić, 1974).

---

<sup>4</sup> teodoliti starejših konstrukcij s kovinskimi limbi in običajno lupo za odčitavanje kotnih vrednosti s pomočjo nonija



**Slika 4:** Optično – mehanski teodolit Wild T2, ki je omogočal 1 sekundno odčitavanje (Štular S., 2008, stran 6)

Do sedaj se v razvoju avtomatizacije geodetskih terenskih instrumentov ohranja njihov optični značaj, mehansko optične izboljšave imajo za cilj le poenostaviti in izvesti zanesljivejšo avtomatizacijo merskih operacij na terenu. Podatki, ki so odčitani z instrumentov, se optično vpisujejo v ročne zapisnike, o racionalni numerični obdelavi meritev za potrebe pridobivanja končnih rezultatov oziroma podatkov merjenj še ni govora (Mataija Valh, 2008).

Razvoj elektronskih teodolitov se primarno začne s tem, ko se poskuša eliminirati geodetova vloga pri odčitavanju in namesto tega ustvariti kontinuiran tok podatkov od instrumenta do elektronskega računalnika. Prvi, ki mu je to uspelo je bil Fennel, leta 1963 z izdelavo teodolita Code – teodolit FLT-3.

Pojav elektronskih teodolitov na tržišče je bil postopen. V 80-ih letih so na trgu še vedno prevladovali optični teodoliti, že desetletje kasneje pa so tržišče zavzeli elektronski teodoliti. Danes si niti predstavljati ne moremo, da bi kdo še uporabljal optične teodolite. Pri Leici Geosystem so s proizvodnjo le teh končali med leti 1995-96. Oblika teodolita se je spreminjala s časom.

Najsodobnejši elektronski tahimetri danes zmorejo operacije, kot so:

- avtomatska kompenzacija vertikalnosti Z-osi;
- merjenje dolžin brez reflektorja;
- samodejno fino viziranje;
- podpora motorizaciji;
- samostojno najdenje reflektorja, fino viziranje in sledenje;
- podpiranje upravljanja na daljavo, kjer lahko ista oseba s ciljne točke upravlja tahimeter in vodi skico;
- odprta arhitektura, ki podpira razvoj lastnih aplikativnih programov...



Slika 5: Elektronski teodolit Leica TM5100A ([www.hexagonmetrology.eu](http://www.hexagonmetrology.eu))

## 4.2 Elektrooptični razdaljemeri in prenos izmerjenih podatkov na računalnik

Mehanski način merjenja dolžin je v osnovnem principu najenostavnejši in najstarejši. Le ta se uporablja odkar človek meri, od prvih primitivnih načinov in sredstev, do kasnejših zelo preciznih naprav. Na začetku so uporabljali vrv, žice ali letve. Najnatančnejše meritve so se izvajale s pomočjo invar žic. Pri teh načinih merjenja so problem predstavljali: konfiguracija terena, zaraščenost, močvirnata tla... Optični način merjenja dolžin je te probleme v veliki meri odpravil. To je merjenje dolžin z uporabo optičnih razdaljemetrov. Pomanjkljivost teh instrumentov je kratek doseg. Za tretji način merjenja dolžin se uporablja elektronski



razdaljemer, ki za merjenje dolžin uporablja elektromagnetne valove. Dolžina se določi z merjenjem časa, ki ga elektromagnetno valovanje potrebuje, da prepotuje pot do tarče in nazaj. Merjenje na ta način ima mnogo večji doseg in je relativno hitro. Groba ocena natančnosti elektronskega razdaljemera je od  $10^{-4}$  do  $10^{-6}$ , sicer pa je natančnost izmerjene dolžine odvisna od številnih vplivov (velikost merjene dolžine in pogoji okolja).

Z željo, da bi se poleg horizontalnih in vertikalnih kotov s teodolitom lahko merile tudi dolžine, so že Montanari (1774), Watt (1771) in Green (1778) vgradili dodatne niti na nitni križ v daljnogledu teodolita. Prvi nitni razdaljemer je leta 1810 konstruiral Reichenbach. Omogočal je izračun poševnih dolžin iz t.i. paralaktičnega trikotnika. Konstantni paralaktični kot je bil zagotovljen na osnovi treh niti nitnega križa, spremenljivi odčitki na lati pa so bili odvisni od velikosti poševne razdalje med lato in razdaljemerom. Tako se je lahko ena izmed osnovnih nalog geodetske prakse, določitev absolutnega in relativnega položaja točk na zemeljski površini, poleg že obstoječe ortogonalne izmere začela izvajati – vsaj v teoriji s pomočjo polarnih koordinat oziroma polarne metode izmere.

Razvoj elektronskih razdaljemerov se je začel v dvajsetih letih 20. stoletja. Predhodniki prvih elektronskih razdaljemerov so bili instrumenti, ki so se uporabljali za vojaške potrebe. Radar ali sonar pri svojem delovanju določata oddaljenost do cilja s pomočjo radijskih valov. Valovi se od cilja odbijajo in vračajo v izhodišče. Izmeri se čas potovanja radijskih valov in na osnovi tega oceni dolžina do cilja. Tako določena dolžina pa nikakor ne zadošča za geodetske potrebe (Kogoj, 2005).

Prvi elektronski razdaljemer primeren za geodetske namene je bil skonstruiran leta 1949. Razvil ga je švedski geodet Bergstrand. Tako imenovani Geodimeter je uporabljal vidno svetlobo. Uporabljati ga je bilo mogoče samo v mraku in temi, njegov doseg je bil do 40 km. Zaradi svoje velike mase ga je bilo potrebno po terenu prevažati z vozom. Leta 1956 je Anglež Wadly izumil prvi mikrovalovni razdaljemer t.i. Tellurometer, ki je zagotavljal geodetsko natančnost. Instrument se je lahko uporabljal tudi podnevi, njegov doseg pa je bil kar 80 km.



Slika 6: Tellurometer Model M/RA1 (<http://celebrating200years.noaa.gov>)

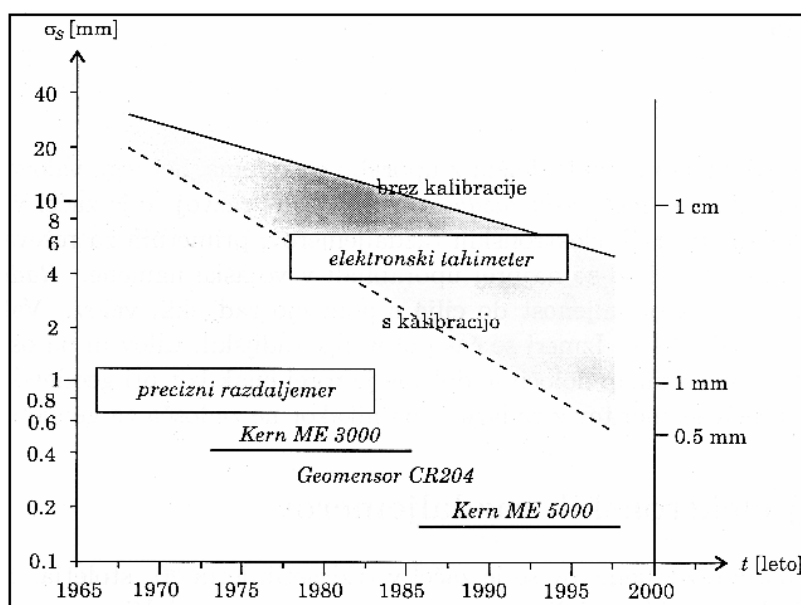
S pojavom prvih elektronskih razdaljemerov, je postalo merjenje dolžin hitrejše, bolj ekonomično in bolj učinkovito. Osnovni princip merjenja dolžin z elektronskimi razdaljemerji je določitev velikosti dolžine na osnovi izmerjenega časovnega intervala potovanja elektromagnetnega valovanja med začetno in končno točko.

Nekatere najpomembnejše spremembe oziroma izboljšave so bile:

- Bistveno sta se zmanjšali masa in velikost instrumentov.
- Povečal se je doseg predvsem elektrooptičnih razdaljemerov.
- Povečala se je natančnost razdaljemerov. Spodnja slika (slika 7) prikazuje, kakšno natančnost so zagotavljali elektrooptični razdaljemerji od šestdesetih let do danes; posebej so navedeni precizni elektrooptični razdaljemerji. Iz slike je razvidno, kako pomembno je *kalibriranje*<sup>5</sup> elektronskih razdaljemerov. Danes se na trgu pojavljajo instrumenti, ki imajo pod pogojem, da so kalibrirani, praktično popolno notranjo natančnost. Natančnost izmerjene dolžine je odvisna samo še od kvalitete določitve gostote atmosfere, skozi katero se širi svetlobni žarek v času meritve.

<sup>5</sup> postopek kalibriranja ali umerjanja nam omogoča določitev posameznih vrednosti, pogreškov in konstant instrumentov

- Izdelani so bili prototipi razdaljemerov, ki delujejo po principu dvobarvne metode (dvofrekvenčne ali tudi dvovalovne metode) merjenja dolžin. Ta metoda omogoča indirektno določitev gostote atmosfere oziroma meteorološkega popravka izmerjene dolžine.
- Uveljavil se je impulzni način merjenja, ki je prvi omogočil merjenje dolžin do naravnih in umetnih objektov brez signalizirane ciljne točke. Na tak način lahko merimo krajše dolžine, zagotovljena je geodetska natančnost (Kogoj, 2005).



Slika 7: Povečanje natančnosti elektronskih razdaljemerov (Kogoj D., 2005, stran 10)

- Nekateri razdaljemerji omogočajo tako imenovano dinamično merjenje dolžin. V kratkem času instrument izvede zelo veliko število meritev, tudi do 60 meritev na sekundo. Vse merske vrednosti se shranijo. Ta način omogoča reševanje specifičnih nalog v inženirski geodeziji (Kogoj, 2005).

Na eno krajno točko postavimo instrument, na drugo pa reflektor – priprava, ki zagotavlja odboj svetlobnega žarka na ciljni točki vzporedno s smerjo vpadnega žarka. Izjema so novejši elektrooptični razdaljemerji, ki omogočajo merjenje razdalj tudi brez uporabe reflektorja. Glavni sestavni del reflektorja je odbojna prizma (lahko jih je tudi več), vgrajena v ohišje, ki

jo varuje pred mehanskimi poškodbami. Del reflektorja je lahko tudi vizirna tarča, ki je nujna pri merjenju horizontalnih in vertikalnih kotov (Kogoj, 2005).

Vzporedno z razvojem elektrooptičnih razdaljemerov se večja tudi uporaba računalnikov v numerični obdelavi geodetskih podatkov. Podatke, ki smo jih izmerili na terenu tako nemoteno prenesemo na računalnike brez nepotrebnega prepisovanja meritev in se tem izgube časa ter rizika grobih napak – neprekinjeni avtomatski tok podatkov. Za neprekinjeni avtomatski tok podatkov je potrebna najprej konstrukcija takšnega instrumenta, ki bo geodetske meritve na terenu avtomatsko registriral v ustrezni obliki ter na primeren medij tako, da bo zagotovljena nadaljnja avtomatska obdelava podatkov (Čolić, 1974).

### **4.3 Avtomatizacija elektronskih tahimetrov**

Osnovna ideja pri avtomatizaciji elektronskih tahimetrov je, da opazovano točko (tarčo) instrument navizira avtomatsko. Operater zato ni več potreben, saj lahko vse potrebne ukaze instrumentu posredujemo s posebno kontrolno enoto na opazovani točki. Takšna oblika avtomatizacije poenostavi izmero za potrebe zemljiškega katastra ter detajlno izmero. Za uporabo sistema za opazovanje geodinamičnih procesov, premikov in deformacij površja in objektov ter določitev položaja ali krmiljenje premičnih objektov je bila potrebna popolna avtomatizacija elektronskega tahimetra. Avtomatizacija višje stopnje ima prednosti predvsem pri merjenju na območju, kjer je zaradi delovanja naravnih sil območje nevarno ter v primeru, ko je časovna perioda ponavljanja meritev majhna (Benčić, 1990).

Za prehod na višjo stopnjo avtomatizacije elektronskega tahimetra sta bila potrebna dva koraka: prehod na avtomatsko prepoznavanje tarče (APT) in avtomatsko iskanje tarče (AIT).

Sistem za avtomatsko prepoznavanje tarče (APT) nadomešča ročno fino viziranje tarče, ko se le-ta že nahaja v vidnem polju daljnogleda tahimetra. Brez ustrezne podpore sistem še ne omogoča popolne avtomatizacije merjenja in še vedno zahteva prisotnost operaterja. Če tarča ni v vidnem polju daljnogleda, je potrebno:

- posredovanje operaterja;
- posredovanje mikroprocesorja, ki daljnogled usmeri v pravo smer na podlagi približnega položaja, pridobljenega iz predhodno opravljenih *ničelnih opazovanj*<sup>6</sup> ali približnih koordinat opazovanih točk;
- posredovanje sistema za avtomatsko iskanje tarče.

Znotraj tehnologije avtomatskega prepoznavanja tarče obstajata dva sistema: avtomatsko viziranje tarče (AVT) in avtomatsko sledenje tarči (AST). Za realizacijo APT je potrebna večina programske in vsa strojna oprema, ki jo uporablja sistem AST. AST je 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.

Drugi korak v avtomatizaciji elektronskih tahimetrov je nadgradnja sistema avtomatskega prepoznavanja tarče 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 popolnoma avtomatizira mehanske operacije tahimetra in ne zahteva več prisotnosti operaterja. 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*<sup>7</sup>. Tahimetru, ki ima vgrajeni APT in AIT tehnologiji, uporabnik prek kontrolne enote posreduje, katero točko naj izmeri, ta pa s tarčo signalizirano točko s sprožitvijo ustreznega ukaza hitro in zanesljivo najde. Nato izmero s pomočjo krmiljenja mikroprocesorja avtomatično izvede (Mataija Valh M., Marjetič A., Kogoj D., 2010)

---

<sup>6</sup> opazovanja do ciljnih točk, samo v I. girusu in v eni ponovitvi, ki zagotovijo podatke o približni smeri proti točkam

<sup>7</sup> povezava za pošiljanje podatkov o izmerjenih vrednostih na daljavo

### 4.3.1 Tehnične osnove za razvoj elektronskih tahimetrov

#### 4.3.1.1 Motorizacija tahimetra

Današnji razvoj teži k izboljšavam elektronskih tahimetrov, ki omogočajo eliminacijo vseh vrst instrumentalnih pogreškov, pogreškov operaterja in avtomatizacijo merskih postopkov. Velika izboljšava elektronskih tahimetrov je vgradnja *servomotorjev*<sup>8</sup>, ki vrtijo zgornji sestav in daljnogled instrumenta. Govorimo o t.i. motoriziranem elektronskem tahimetru. 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 radiu limba 60 mm znašati manj kot 0,05  $\mu\text{m}$ , da bi dosegli zanesljivost pozicioniranja 0,1  $\mu\text{m}$ , kar odgovarja kotni vrednosti 0,1 mgon. Današnji tahimetri so to zanesljivost določitve položaja že krepko presegli. Motorizirani elektronski tahimeter, opremljen z ustrezno programsko in strojno opremo je privedel do zadnje razvojne stopnje tahimetrov, robotiziranih elektronskih tahimetrov oziroma avtomatiziranih elektronskih tahimetrov (Mataija Valh M., 2008).

#### 4.3.1.2 Daljnogled elektronskega tahimetra

Tehnologije za avtomatizacijo elektronskih tahimetrov zahtevajo drugačno sestavo daljnogleda instrumenta. Osnovo predstavlja koaksialni optični sistem, 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 odvisen predvsem od velikosti vidnega polja daljnogleda, bi se tako znatno zmanjšalo vidno polje. Prav tako 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'.

---

<sup>8</sup> mehanizem, ki opravlja delo, potrebno za krmiljenje ali regulacijo

Avtomatski elektronski tahimetri imajo v daljnogledu 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 samo usmeritev nosilca prizme (Tracklight ali Guide Light) (Mataija Valh M., Marjetič A., Kogoj D., 2010).

#### **4.3.1.3 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. To pomeni, da želimo instrument daljinsko upravljati. Potrebujemo dodatno strojno opremo, ki takšno komunikacijo omogoča, in sicer 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). Nato uporabnik vse ukaze posreduje mikroprocesorju v instrumentu prek kontrolne enote, ki se ne nahaja več samo na instrumentu, ampak tudi ob signalni tarči. Kontrolna enota ob tarči in mikroprocesor v instrumentu sta povezana prek telemetrične povezave. Zaslona kontrolnih enot v instrumentu in ob tarči delujeta običajno sinhronizirano. Daljinsko vodenje je uporabno tudi pri standardnih elektronskih tahimetrih, ki jih upravljajo operaterji, saj zaslon na kontrolni enoti ob tarči prikazuje podatke v realnem času. 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 (Mataija Valh M., 2008).

### 4.3.2 Avtomatsko prepoznavanje tarče

APT omogoča, da ob približnem viziranju instrument sam najde in prepozna tarčo ter ji sledi. S tem se izognemo zamudnemu preciznemu viziranju in nastavljanju ostrine. Natančnost viziranja je enaka kot pri uveljavljenih klasičnih ročnih metodah, le da delo s tem instrumentom poteka hitreje in je manj utrujajoče. Uporabljena prizma je lahko katerakoli, vendar je optimalni doseg omogočen z uporabo prizme 360° prizme, ki je vedno obrnjena proti instrumentu. Tako lahko s sistemom APT prepoznamo prizmo tudi do 1000 m daleč.



Slika 8: Posebna 360° prizma ([www.surveyequipment.com](http://www.surveyequipment.com))

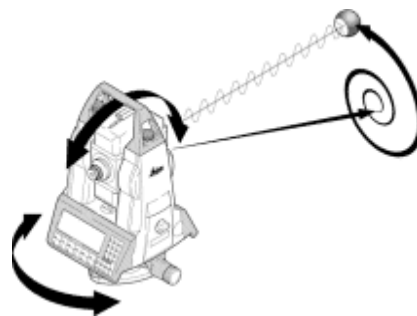
APT je osnovni sistem AVT. Realizirati ga je mogoče z različnimi konstrukcijami. Večina proizvajalcev za prepoznavanje tarče avtomatiziranih elektronskih tahimetrov uporablja CCD (Charge Coupled Device) in CMOS (Complementary Metal Oxide Semiconductor) kamere in tipala oziroma senzorje (Mataija Valh M., 2008).

Včasih so obstajale tudi druge tehnične rešitve. Dve pomembnejši sta AVT z detekcijo maksimalne intenzitete povratnega signala in AVT z izenačitvijo jakosti signala simetrično razporejenih fotodiod (Benčić, 1990).

Pri avtomatskem viziranju tarče z detekcijo maksimalne intenzitete povratnega signala skuša instrument najti smer, pri kateri je intenziteta odbitega elektromagnetnega valovanja elektrooptičnega razdaljemera največja.

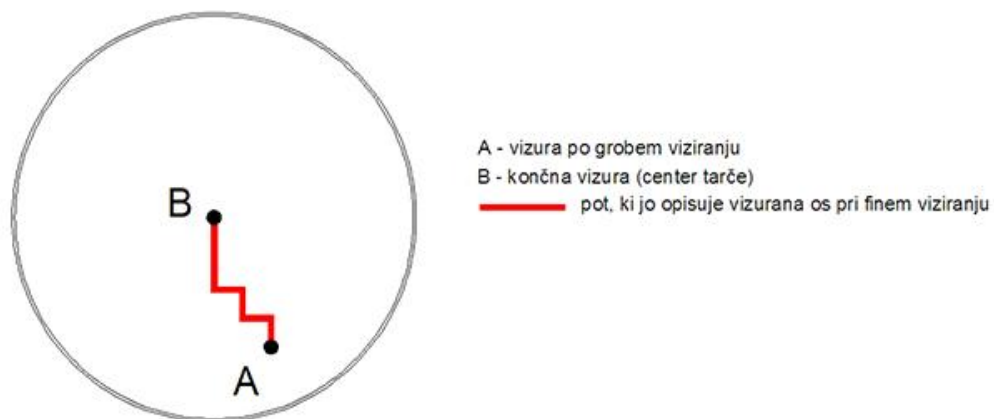


Prva faza je analogna grobem viziranju. Mikroprocesor opisuje spiralasto pot pravokotne ali okrogle oblike, s katero skuša najti približni položaj tarče (slika 9). Od začetne točke ter ob konstantnem merjenju intenzitete odbitega signala riše spiralo krožne ali kvadratne oblike, vse dokler odbitega signala dejansko ne zazna – 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.



**Slika 9:** Metoda grobega viziranja tarče – spiralna pot po kateri instrument poskuša poiskati tarčo  
([www.geoservis.si](http://www.geoservis.si))

Druga faza je analogna finemu optičnemu viziranju operaterja. Mikroprocesor premika vizurno os daljnogleda za majhne vrednosti izmenično v horizontalni in vertikalni smeri (slika 10), dokler ne registrira maksimalne jakosti povratnega signala po vertikali in horizontali, kar pomeni, da je tarča fino navizirana. Nato se izvede registracija opazovanj, mikroprocesor pa nadaljuje z zastavljeno nalogo (Mataija Valh M., 2008).



**Slika 10:** Metoda finega avtomatskega viziranja tarče z detekcijo maksimalne intenzitete povratnega signala

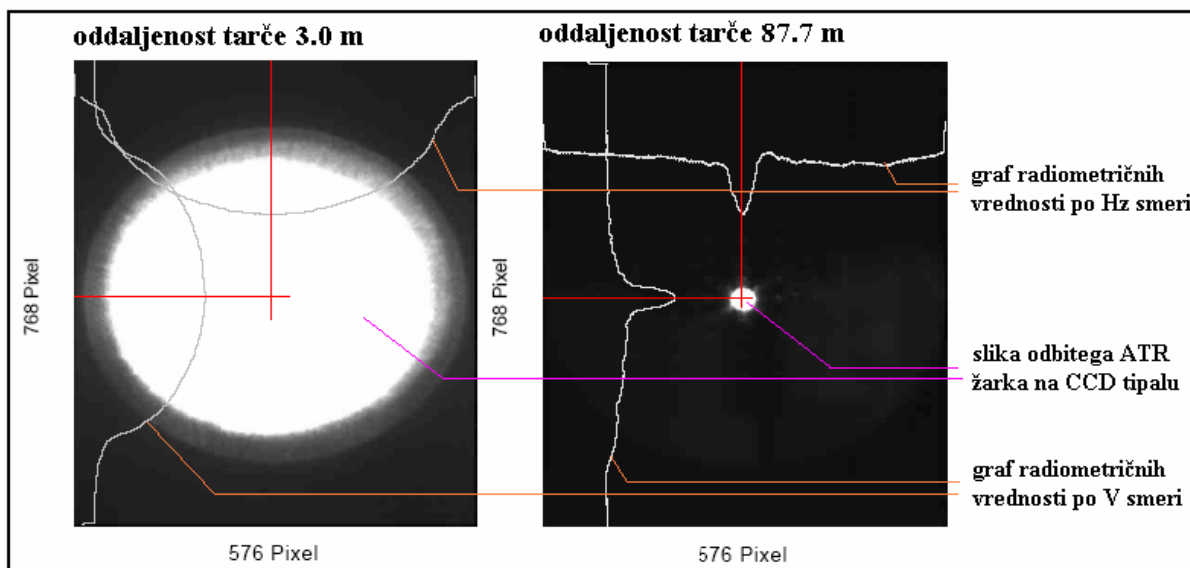
Pri avtomatskem viziranju tarče z izenačitvijo jakosti signala simetrično razporejenih fotodiod se ciljna točka signalizira z močnim svetlobnim signalom. V najenostavnejšem primeru z živosrebrno žarnico. Za okularjem elektronskega tahimetra je vgrajen modul s štirimi fotodiodami, razporejenimi simetrično v štiri kvadrante. Vse fotodiode se nahajajo na skupni silicijski ploščici in tvorijo detektor za detekcijo svetlobnega signala. Modulirani svetlobni snop cilja pade na detektor za detekcijo svetlobnega signala, vsaka fotodioda pa izmeri jakost prejetega svetlobnega signala. Mikroprocesor obdela signale, in če je izmerjena jakost na enih 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 (Mataija Valh M., 2008).

Natančnost takšnega avtomatskega viziranja je majhna, saj tako enostaven detektor z samo štirimi receptorji ne more nadomestiti očesa operaterja. Prednost sistema je v enostavni in poceni zgradbi modula ter v popolnoma zadovoljivih rezultatih, kadar ne potrebujemo velike natančnosti (npr. določitev poti hitrih ciljev).

#### **4.3.2.1 AVT z uporabo CCD in CMOS senzorjev**

Novost v razvoju avtomatskega viziranja so prinesle CCD in CMOS kamere oziroma tipala. 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 je sprejet s CCD ali CMOS kamero, ki je v funkciji 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. Potrebna je vzpostavitev funkcijske zveze med merskim sistemom tahimetra in merskim sistemom tipala kamere CCD in CMOS. Ta funkcijska zveza se imenuje kalibracija sistema.

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



Slika 11: Slika odbitega signala in določitev točke maksimalne radiometrične vrednosti (Mataija Valh M., 2008)

Vizurna os tahimetra je po tem postopku 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. Med novo sliko prejetega žarka na tipalu CCD in CMOS in koordinatnem izhodišču tipala tarče, se pojavijo majhna odstopanja, ki se nato računsko upoštevajo ter naknadno prištejejo k registriranim vrednostim kotov. Na podlagi raziskav lahko trdimo, da je za viziranje tarče s sistemom AVT potrebna samo tretjina do polovica časa, ki bi ga za isti postopek potreboval izkušeni operater (Mataija Valh M, Marjetič A., Ježovnik V., Kogoj D., 2008).

### 4.3.3 Avtomatsko sledenje tarči

Tehnologija za AVT v instrumentu je nadgrajena z tehnologijo za avtomatsko sledenje tarče (AST). Po začetni meritvi, tahimeter ostane "priklenjen" na prizmo in ji sledi, tudi ko se ta premika. AST je 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 opravlja sam – Stop and Go metoda izmere (Mataija Valh M., 2008).

Pri AVT se pojavi niz problemov, ki so vezani na izgubo tarče iz vidnega polja sistema zaradi motečih objektov in prahu ter nepozornosti nosilca tarče, ki premika signalno tarčo iz ene ciljne točke na drugo. Nosilec tarče mora paziti, da s tarčo ne izvaja nenadnih, nepredvidljivih ali prehitrih premikov, reflektor tarče pa mora biti ves čas usmerjen proti tahimetru, da ga le ta lahko sledi.

Za krajše prekinitve merskega signala med tahimetrom in tarčo se uporabljajo posebni računski algoritmi, ki na osnovi predhodne hitrosti in smeri tarče skušajo predvideti, kako se bo tarča premikala med prekinitvijo signala.

### 4.3.4 Avtomatsko iskanje tarče

Zadnji korak v avtomatizaciji elektronskega tahimetra predstavlja realizacija sistema avtomatskega iskanja tarče, ki se nahaja v okolici instrumenta. S sistemom AIT se je sistem AST dopolnil do te mere, da teoretično in tudi praktično lahko s tako avtomatiziranim instrumentom terensko izmero opravlja en sam človek. Zato se je za takšne instrumente uveljavil izraz "One Man Station" (Mataija Valh M., 2008).

Pred tehničnim razvojem sistema AIT in vgradnjo sistema v elektronski tahimeter si morajo konstruktorji odgovoriti na nekatera vprašanja, ki bodo vplivala na razvoj sistema oziroma njegove tehnične in programske rešitve.

Eno izmed vprašanj je bilo, kako instrumentu omejiti iskalno polje, da bi tarčo čim hitreje grobo naviziral. Grobo viziranje tarče je hitrejše, če instrument ve približno lokacijo tarče, zato so proizvajalci začeli razvijati tehnologije za lociranje tarče. Tako se je pojavila t.i. tehnologija aktivnih tarč, kjer so tarče sposobne usmeriti tahimeter v pravo smer in imajo zato aktivno vlogo v merskem postopku. Nekateri proizvajalci vztrajajo pri običajnih tarčah, kjer se vse operacije izvedejo v instrumentu, tarča pa opravlja samo svojo tradicionalno vlogo – t.i. tehnologija pasivnih tarč.

Za tehnologijo AIT je ena izmed osnovnih sestavin oddajnik elektromagnetnega valovanja, ki preko posebne optike oddaja snop žarkov. Oddajnik se lahko nahaja na tarči (aktivne tarče) ali v tahimetru (pasivne tarče). V primeru, ko se oddajnik nahaja v tahimetru, je lahko osnova za snop žarkov 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 odbit signal, in sposobnosti algoritmov, ki na podlagi odbitega signala približno pozicionirajo vizurno os tahimetra (Spectra Precision).

**Pri tehnologiji AIT z aktivnimi tarčami** ima tarča poleg reflektorja in kontrolne enote za daljinsko upravljanje s tahimetrom vgrajen še poseben oddajnik, ki ob sprožitvi sistema AIT odda elektromagnetno valovanje. Oddajnik elektromagnetnega valovanja nosilec tarče s pomočjo optične usmerjevalne naprave na tarči usmeri proti avtomatskemu elektronskemu tahimetru, ki ob sprožitvi sistema AIT začne rotirati okrog glavnih osi z namenom določitve približne smeri proti tarči. Ko posebni senzor v tahimetru zazna iz aktivne tarče oddano elektromagnetno valovanje, mikroprocesor ustavi rotiranje tahimetra. Nato preklopi na sistem APT, saj se v tem trenutku tarča že nahaja v vidnem polju sistema. Aktivne tarče močno zmanjšujejo verjetnost, da bo modul AIT zaznal kakšen moteči signal, ki se ne odbije od

tarče, ampak drugih reflektirajočih predmetov v okolici. V primeru, da na terenu uporabljamo več tarč, obstaja tudi možnost, da avtomatski elektronski tahimeter izbere in navizira napačno tarčo (Mataija Valh M., Marjetič A, Ježovnik V, Kogoj D., 2008).

Pri **tehnologiji AIT z pasivnimi tarčami** se lahko uporablja vsaka običajna tarča, ki se uporablja pri klasični terestični izmeri z elektronskim tahimetrom oziroma tarča, ki omogoča avtomatsko viziranje. Ker je sistem avtomatskega iskanja tarče običajno nadgradnja sistema avtomatskega sledenja tarči, se velikokrat uporabljajo tarče s 360° prizmo, ki omogočajo enostavnejše avtomatsko sledenje tarči.

Pri omenjeni tehnologiji ob sprožitvi ukaza za iskanje tarče avtomatski elektronski tahimeter preko posebne optike začne oddajati 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 imeti širok vertikalni kot, horizontalni kot pa je lahko precej ozek, saj bo svetlobni signal oddan iz tahimetra, ki se vrti okoli vertikalne osi, v vsakem primeru zadel tarčo in se odbil nazaj.

Modul AIT mora biti sposoben, da signal, odbit od tarče, razloči od motečih odbitih signalov. Pogosti moteči faktor je umetna svetloba, neposredno vpadla sončna svetloba in sončna svetloba, odbita od reflektirajočih objektov, kot so šipe in zrcala ali velike osvetljene bele ploskve.

V primerjavi s tehnologijo AIT z aktivnimi tarčami je velika pomanjkljivost tehnologije AIT s pasivnimi tarčami otežena hkratna uporaba več tarč, saj je edina trivialna rešitev fizično zakrivanje reflektorjev tarč, ki trenutno niso v funkciji signalizacije ciljne točke (Mataija Valh M., Marjetič A, Ježovnik V, Kogoj D., 2008).

#### 4.3.5 Prvi avtomatski elektronski tahimeter

Prvi instrument, ki je izpolnjeval vse bistvene zahteve samodejnega prepoznavanja in iskanja tarče, so razvili v Švici med letoma 1982 in 1986 v t.i. projektnem delu Topomat. Cilj projekta je bil izdelati avtomatski elektronski tahimeter za potrebe merjenja pri izdelavi topografskih in katastrskih načrtov. Osnovne zahteve pri projektu Topomat so bile:

- operater je nepotreben, saj lahko tudi vodja snemanja, ki se nahaja na mestu ciljne točke, direktno upravlja s sistemom;
- tahimeter naj poišče in prepozna tarčo brez vnaprej znane informacije o položaju tarče;
- iskanje tarče mora biti dovolj hitro za praktično uporabo;
- instrument naj izmeri in registrira dolžino do tarče in vrednosti horizontalne smeri in vertikalnega kota (Mataija Valh M., 2008).

Osnova za poskusni sistem je bil motorizirani kombinirani elektronski tahimeter, sestavljen iz teodolita Wild-T-2000 in razdaljemera Di1000. V daljnogled so koaksialno vgradili polprevodniško CCD kamero, povezano z računalnikom, ki je poskrbela za digitalizacijo slike odbitega valovanja elektrooptičnega razdaljemera in digitalno obdelavo te slike za potrebe finega viziranja. Laserski oddajnik za grobo detekcijo je bil nameščen med daljnogledom in razdaljemerom. Oddajal je snop laserskih žarkov, ki je obsegal iskalno območje širine 41' horizontalnega kota in 22° višinskega kota. Detektor za grobo odkrivanje pa je bil sestavljen iz vodoravne zaslonke in navpičnega režastega detektorja. Tarča je bila pasivna, sestavljena iz reflektorja s tremi odbojnimi prizmami, doseg instrumenta pa od 3 m do 300 m. Iskalna in merska procedura sta bili razdeljeni v štiri korake:

1. korak: grobo iskanje tarče po horizontalni smeri – največje odstopanje od dejanske smeri proti tarči je znašalo približno 50 mgon.
2. korak: grobo iskanje tarče po vertikalni smeri – največje odstopanje od dejanske smeri proti tarči je znašalo približno 70 mgon.
3. korak: krožno naravnavanje in merjenje poševne dolžine ter avtomatska izostritev slike za potrebe finega viziranja.
4. korak: obdelava slike odbitega valovanja elektrooptičnega razdaljemera na CCD tipalu, izračun odstopanj slike od središča koordinatnega sistema CCD tipala in izračun "pravih" vrednosti horizontalne smeri in vertikalnega kota (Mataija Valh M.,2008).



Slika 12: Topomat (Mataija Valh M, 2008)

Topomata niso pričeli serijsko izdelovati, vsekakor pa so bile s tem instrumentom razvite osnovne rešitve, ki so tudi v sodobnih instrumentih izvedene na zelo podoben način.



## 5 SODOBNI ELEKTRONSKI TAHIMETRI RAZLIČNIH PROIZVAJALCEV

Proizvajalci avtomatskih elektronskih tahimetrov razvijajo sodobne tehnologije 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. Zanimivo je, da na področju avtomatiziranih elektronskih tahimetrov niti proizvajalci niti strokovnjaki ne uporabljajo enotne terminologije. Laičnim uporabnikom oziroma kupcem je zato praktično onemogočeno, da bi pred nakupom avtomatskega tahimetra izvedli primerjavo avtomatskih elektronskih tahimetrov posameznih proizvajalcev. V preglednici 2 so prikazane glavne tehnične specifikacije tehnologij višjih stopenj avtomatizacije naj sodobnejših elektronskih tahimetrov, ki jih bom v nadaljevanju podrobneje predstavila.

**Preglednica 2:** Izbrani sodobni elektronski tahimetri in njihove značilnosti

	<b>Trimble VX</b>	<b>Topcon GPT7000i</b>	<b>Leica TS30</b>	<b>Leica TS15</b>	<b>Leica SmartPole</b>
Natančnost Hz in V kotov ( $\sigma_{\text{ISO-THEO-HZ (V)}}$ )	1"	1"	0,5"	1"	1"
Največja hitrost rotiranja	86°/s	*	180°/s	45°/s	45°/s
Vidno polje daljnogleda	1° 30'	1° 30'	1° 30'	1° 30'	1° 30'
Poimenovanje sistema AVT	Autolock / Finelock	Auto Lock	ATR (Automatic Target Recognition)	ATR (Automatic Target Recognition)	ATR (Automatic Target Recognition)
Princip delovanja AVT	Tarča RMT (Remote Measured Target) emitira merski signal, ki ga sprejema senzor v inst. ter popravlja smer, dokler vizurna os ni poravnana s smerjo proti tarči.	*	Digitalna obdelava oddanega merskega signala, ki se preslika na CMOS tipalo s kaoksialno optiko z daljnogledom.	Digitalna obdelava oddanega merskega signala, ki se preslika na CMOS tipalo s kaoksialno optiko z daljnogledom.	Digitalna obdelava oddanega merskega signala, ki se preslika na CMOS tipalo s kaoksialno optiko z daljnogledom.

>>se nadaljuje...<<

## &gt;&gt;...nadaljevanje&lt;&lt;

	<b>Trimble VX</b>	<b>Topcon GPT7000i</b>	<b>Leica TS30</b>	<b>Leica TS15</b>	<b>Leica SmartPole</b>
Merski signal sistema AVT	Sinusno modulirano infrardeče EMV	*	Infrardeči laserski žarek	Infrardeči laserski žarek	Infrardeči laserski žarek
Doseg sistema AVT	0,2m – 500m/700m (pasivna tarča) 0,2m – 800m (Trimble MultiTrack Target)	1,3m – 1000m (miniprizma) 1,3m – 3000m (klasična prizma)	1,5m – 1000m (standardna tarča GPR1) 1,5m – 800m (360° reflektor GRZ4 oz. GRZ122)	1,5m – 1000m (standardna tarča GPR1) 1,5m – 800m (360° reflektor GRZ4 oz. GRZ122)	1,5m – 1000m (standardna tarča GPR1) 1,5m – 800 m (360° reflektor GRZ4 oz. GRZ122)
Natančnosti viziranja sistema AVT	1 mm; 2 ppm 1"	2 mm; 2 ppm 1"	1 mm 1"	1 mm 1"	1 mm 1"
Časovni interval viziranja s sistemom AVT	2 – 10 s	1,2 s	3 - 4 s	3 - 4 s	1,5 s
Poimenovanje sistema AST	Robotic	Automatic Tracking	Lock	Lock	Lock
Doseg sistema AST	0,2m – 500m/700m (pasivna tarča) 0,2m – 800m (Trimble MultiTrack Target)	*	5m – 800m (standardna tarča GPR1) 5m – 600m (360° reflektor GRZ4)	5m – 800m (standardna tarča GPR1) 5m – 600m (360° reflektor GRZ4)	5m – 800m (standardna tarča GPR1) 5m – 500m (360° reflektor GRZ4)
Največja hitrost sledenja AST	*	*	9 m/s pri 20 m 45 m/s pri 100 m	5 m/s pri 20 m 25 m/s pri 100 m	5 m/s pri 20 m 25 m/s pri 100 m
Poimenovanje sistema AIT	GeoLock	Quick Lock / Remote Control RC3	Power Search	Power Search	Power Search
Vrsta tarče	aktivna – z vgrajenim navigacijskim sprejemnikom GPS	aktivna – emitira infrardeči laserski signal	vse standardne prizme	vse standardne prizme	pasivne prizme

&gt;&gt;se nadaljuje...&lt;&lt;

>>...nadaljevanje<<

	Trimble VX	Topcon GPT7000i	Leica TS30	Leica TS15	Leica SmartPole
Vrsta telemetrične povezave med tarčo in kontrolno enoto za daljinsko vodenje oz. tahimetrom	Bluetooth povezava (tarča – kontrolna enota)	Infrardeči laserski žarek (tarča – tahimeter) Bluetooth povezava (tarča – kontrolna enota)	Infrardeči laserski žarek	Infrardeči laserski žarek	ni potrebna
Vrsta telemetrične povezave med tahimetrom in kontrolno enoto za daljinsko vodenje	radijska povezava	radijska povezava	radijska povezava	radijska povezava	radijska povezava
Čas iskanja tarče sistema AIT	2 – 10 s	*	5 s	5 – 10 s	5 – 10 s
Natančnost merjenja dolžin z reflektorjem ( $\sigma_{ISO-EDM}$ )	- standardno 2 mm; 2 ppm - sledenje 4 mm; 2 ppm	- do 25 m 3 mm; 2 ppm - nad 25 m 2mm; 2 ppm	0,6mm; 1ppm	1mm; 1,5ppm	- standardno 2 mm; 2 ppm - sledenje 5 mm; 2 ppm
Natančnost merjenje dolžin brez reflektorja ( $\sigma_{ISO-EDM}$ )	- standardno 2 mm; 2 ppm - sledenje 4 mm; 2 ppm	5 mm	2 mm; 2 ppm	2 mm; 2ppm	- do 500 m 3 mm; 2 ppm - nad 500 m 5mm; 2 ppm
Čas merjenja dolžin	- standardno 1,2 s - sledenje 0,4 s	1mm: pribl. 1,2 s (začetna 3 s) 0,2mm: pribl. 3s (začetna 4 s) -sledenje: pribl. 0,3 s (začetna 2,5 s)	0,6 mm; 1ppm /7 s  1mm;1ppm /2,4 s	0,8 s	- standardno 1,5 s - sledenje 0,15 s
Čas merjenja dolžin brez prizme	- standardno 1 – 5 s - sledenje 0,4 s	*	3 s	3 s	Pribl. 3 – 6 s, max. 12 s

>>se nadaljuje...<<

&gt;&gt;...nadaljevanje&lt;&lt;

		Trimble VX	Topcon GPT7000i	Leica TS30	Leica TS15	Leica SmartPole
Kamera	Št. pikslov	2048x1536	640x480	*	2560x1920	*
	Senzor	CCD	CMOS	*	CMOS	*
	Digitalni zoom	4 koraki (1x, 2x, 4x, 8x)	0.25, 0.5, 1, 2	30 x	3 koraki (1x, 2x, 4x)	30 x
	Min. žariščna razdalja	3 m	2 m	1,7 m	2 m	1,7 m
	Zorni kot	16,5° x 12,3°	1° ozkokoten, 30° širokokotni pogled	1°30' (1.66 gon) / 2.7 m na 100 m	15,5° x 11,7°	1°30' (1.66 gon) / 2.7 m na 100 m
Zajem posnetka	Ime	Spatial Imaging	Imaging	*	Leica Viva Imaging	*
	Kamere	*	1.3 Mpiksel		5 Mpiksel	
	Hitrost	115°/s	1 – 10 slik na sekundo		20 slik na sekundo	
	Skeniranje	*	Max 20 pts/sec		*	

\* - podatka ni mogoče pridobiti

## 5.1 Trimble VX Spatial Station

### 5.1.1 Predstavitev instrumenta

V družino instrumentov Trimble S8 spada tudi VX Spatial Station, ki je primeren za vsakodnevna tipična geodetska dela, posebne inženirske naloge in *monitoring*<sup>9</sup> v vseh pogojih.

Za predstavitev tega sodobnega elektronskega tahimetra sem se odločila, ker omogoča kombinacijo skeniranja, fotografiranja in geodetske izmere in s tem predstavlja imenitno rešitev za nas geodete. Integracija naprednih tehnologij elektrooptičnih tahimetrov, metričnih

<sup>9</sup> pomeni spremljati površinske in podzemne premike

fotografij in 3D skeniranja postavlja Trimble VX Spatial Station na vrh integriranih geodetskih instrumentov.



Slika 13: Trimble VX Spatial Station

Z instrumentom Trimble VX Spatial Station lahko dosežemo zelo visoke nivoje produktivnosti in sicer z funkcijami:

- Trimble VISION™ (video način) – je tehnologija instrumenta, ki uporabnikom omogoča nadzor nad instrumentom in pogled skozi daljnogled preko video načina tudi iz oddaljenega kontrolerja pri prizmi. Na ekranu vidimo vse posnete točke, tako da lahko sproti preverimo, če smo izmerili vse (slika 14). Viziramo lahko tudi tako, da na ekranu kliknemo na zeleno točko in instrument se obrne na njo, tako nam ni treba biti za instrumentom, ko merimo točke z *DR* (Direct Reflex - brez prizme). Izmerjeno točko lahko fotografiramo. Tako lahko na terenu direktno preverimo vse podatke na ekranu, vključno s točkami, linijami, višinami... Na ekranu lahko opazimo napako, kot je npr. višina prizme (slika 15). Fotografija nam kasneje v pisarni osveži spomin, da takoj vemo kaj izmerjena točka predstavlja (npr. jašek, vogal objekta,...). Iz

kontrolerja torej lahko vidimo vse kar želimo, ne da bi morali iti nazaj do instrumenta. S to tehnologijo je delo enostavnejše in hitreje opravljeno.



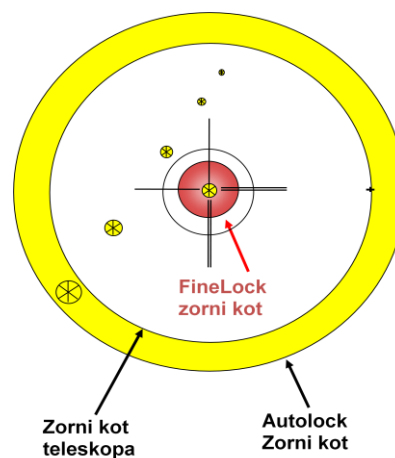
Slika 14: Prikaz funkcije Trimble VISION (video način)



Slika 15: Na ekranu lahko direktno opazimo grobo napako, kot je npr. višina prizme

S fotografijami s terena izboljšamo tudi komunikacijo med sodelavci. Če terensko delo opravlja ena oseba, druga pa pisarniško delo, si pisarniški delavec lahko veliko bolje predstavlja teren in ima s tem olajšano nadaljnje delo.

- Trimble DR Plus (Direct Reflex - brez prizme) – omogoča meritve brez prizme na skoraj vse vrste površin. Operater na terenu lahko izmeri tudi težko oziroma nevarno dostopne točke (hoja po prometni cesti, plezanje po nedostopnem terenu...). Meritve so tako hitre in varne ne da bi se odrekli natančnosti. Mogoče je izmeriti nadzemne kable, predore, mostove, elemente fasad... To funkcijo lahko uporabljamo direktno iz instrumenta ali robotsko preko kontrolerja. Lažje meritve s tehnologijo DR Plus omogoča predhodno vključen laser. Če uporabljamo to funkcijo preko kontrolerja, kliknemo na točko na sliki v živo (npr. kap strehe) nato še fino naviziramo. Tako nam ni potrebno navizirati na točko s pogledom skozi daljnogled. Z vklopljenim DR načinom je doseg merjenja razdalje od 600 do 1300 m z natančnostjo 1mm;2ppm, z vklopljenim extended range načinom pa je doseg do 2200 m, vendar je s tem slabša natančnost, in sicer 10mm;2ppm. Omenjeni podatki veljajo za 2 sekundni instrument. S pomočjo te tehnologije lahko zmanjšamo število stojišč, zaradi česar posledično prihranimo čas in razširimo območje skeniranja.
- Trimble FineLock™ – je funkcija, ki se uporablja predvsem za monitoring. Z funkcijo FineLock določimo zorni kot, v katerem naj instrument išče prizmo, tako določimo manjše območje iskanja prizme. Uporabna je predvsem v primerih, ko uporabljamo več prizem ter v primerih, kjer je možnost, da se žarek odbije v prometne znake (zaradi svetlobe). Tako imamo eliminiran vpliv neželenih odbojev.



Slika 16: Funkcija FineLock

- Trimble SurePoint™ – za instrument Trimble VX Spatial Station je pomembno, da se uporablja kvaliteten stativ in da se la ta dobro stabilizira. Nestabilnost negativno vpliva na natančnost izmerjenih rezultatov. Zato ta funkcija omogoča, da instrument avtomatično kompenzira manjše premike zaradi vpliva vetra, vremena,... SurePoint tehnologija omogoča aktivno popravljanje viziranja zaradi neželenega gibanja in zagotavlja točnost meritev. V primeru opravljanja meritev v snegu in pri nizkih temperaturah, ko se instrument pogreza zaradi sončnih žarkov in posledično taljenja ledu na tleh, je ta funkcija zelo koristna, saj instrument sam poskrbi, da se ohrani vizura. Omenjena tehnologija je koristna tudi v vetrovnih razmerah, na gradbiščih zaradi vibracij in podobno. Omogoča nam, da imamo vedno natančne meritve.



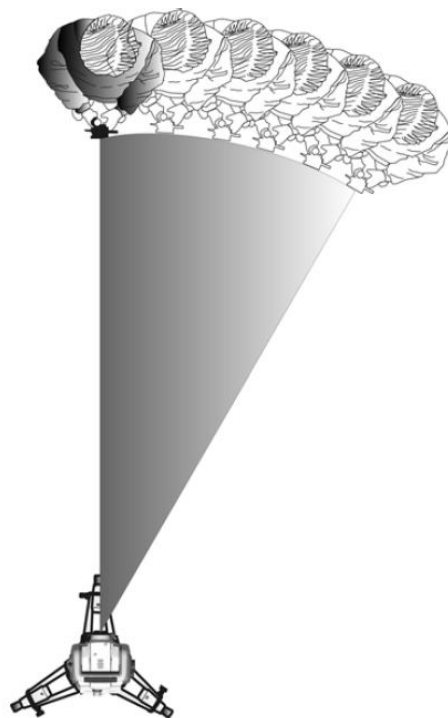
Slika 17: Funkcija SurePoint

- Trimble MagDrive™ – funkcija, ki omogoča servo premike instrumenta z elektromagnetnimi motorji. Omogoča zelo hitre in tihe, horizontalne in vertikalne zasuke, saj ni trenja, zobnikov, vibracij in obrabe. Zasuki naj bi po mnenju proizvajalca znašali kar 100° na sekundo, kar se kaže v visoki učinkovitosti meritev in majhni izgubi časa med izmero posameznih točk. MagDrive tehnologija nam torej omogoča, da na dan zajamemo več meritev, saj s pomočjo te tehnologije merimo do 40 % hitreje. MagDrive servo tehnologija omogoča natančno, hitro in neslišno vrtenje,



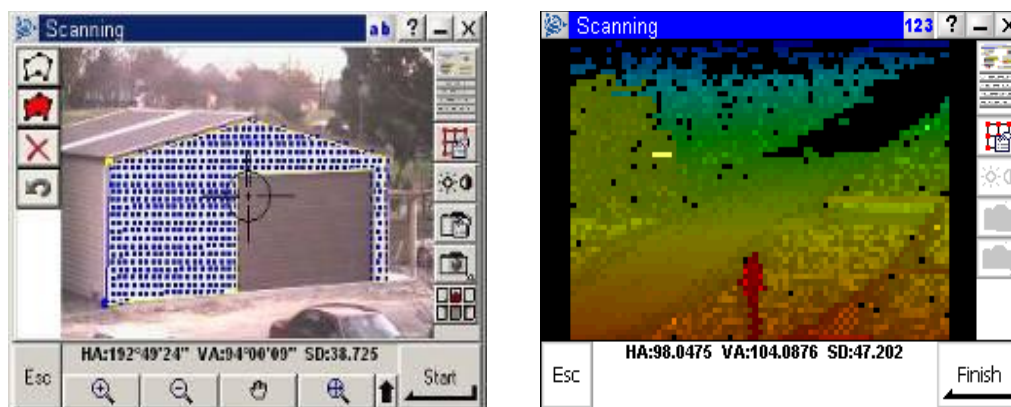
brez vplivov, ki jih povzročajo tradicionalni motorji. Servo pogoni povečujejo zanesljivost in zmanjšujejo zahteve po vzdrževanju in servisiranju.

- Trimble AutoLock™ - je tehnologija, ki omogoča avtomatično iskanje in sledenje prizmi. To pomeni, da instrument sam skrbi, da je vedno obrnjen proti prizmi in da se položaj prizme stalno posodablja kot se le ta premika po delovišču. AutoLock je posebno uporaben za izvajanje hitrih meritev v zasedi dveh oseb. S to tehnologijo prihranimo 50% časa, saj potrebujemo le 3 sekunde na točko. Deluje tudi v temnih in meglenih okoliščinah, saj omogoča avtomatično preverjanje reference tarče. Operaterju ni potrebno več napanjati oči cel dan, saj fino viziranje in fokusiranje ni več potrebno.



**Slika 18:** Funkcija AutoLock

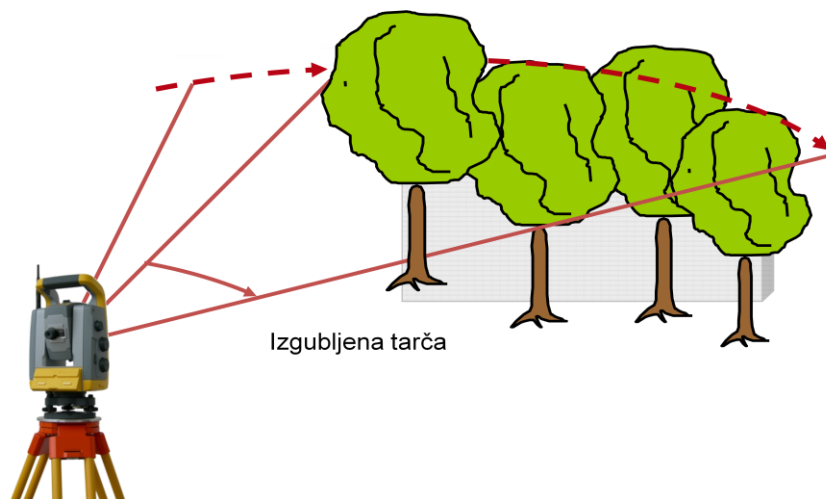
- Trimble MultiTrack™ – je možnost uporabe aktivnih in pasivnih tarč. Pasivna prizma je lahko katerakoli prizma, aktivna prizma pa je prizma z aktivno napravo, ki oddaja IR signal z ID kodo. Omogoča nam, da instrument sledi izbrani prizmi in ga pri tem ne motijo razni odbojni materiali na delovišču, ko so odbojni prometni znaki, avtomobilske registrske tablice... Operater je lahko prepričan, da bo instrument izvedel meritev na želeno tarčo.
- Trimble Spatial Station™ - instrument ima tudi posebno funkcijo 3D - skeniranje, ki je zelo uporabna pri 3D - modeliranju in izmeri za potrebe določitve volumna objektov. Rezultat izmere je oblak točk površja objekta izmere.



Slika 19 in Slika 20: Prikazujeta 3D skeniranje

- Trimble IS Rover – kombinacija GNSS in tahimetra. S pomočjo kombinacije ne potrebujemo več nobene znane točke. Instrument oziroma stojišče lahko postavimo kamor želimo.

- GPS Search – s pomočjo te funkcije instrument najde prizmo kjerkoli. Tudi če se pojavijo ovire med instrumentom in tarčo, najde tarčo s pomočjo koordinat. GPS Search zaklene na prizmo v nekaj sekundah. Lahko se uporablja mali BT GPS ali Trimble Rover.



Slika 21: Prikazuje funkcijo GPS Search

Delo z instrumentom ni težko, predvsem zaradi Windows CE programske opreme, katere smo ljudje povečini vajeni iz vsakodnevne uporabe osebnih računalnikov.

Sposobnost za zajemanja metričnih fotografij na terenu pomeni, da lahko geodeti izvedemo dodatne meritve v pisarni. Podatki se lahko dodatno obdelajo in atributirajo s standardnim Trimble RealWorks™ programskim paketom.

### 5.1.2 Opis prenosa izmerjenih podatkov na računalnik

Trimble Bussines Center je programska oprema za obdelavo, upravljanje in analizo vseh terenskih podatkov: tahimetrija, niveliranje, GNSS ter spatial stations (spatial imaging - fotografije in 3D scanning data). Omogoča preprost uvoz podatkov iz različnih virov, tudi podatkovnih datotek iz terenskih naprav. Po obdelavi podatkov se le ti izvozijo neposredno v ustrezno mapo oziroma različne formate datotek, ki se lahko kasneje uvozijo v druge programske pakete. Omogoča napredno izmenjavo podatkov med ekipo na terenu in ekipo v pisarni ter izmenjavo podatkov med pisarno in strankami. Trimble Bussines Center uporabnikom omogoča enostavno združevanje in upravljanje podatkov za pridobivanje točnih rezultatov.

Program omogoča:

- postprocesing, izravnavo kombiniranih mrež;
- kartiranje, pripravo kodnih tabel;
- izračun kubatur, profilov, presekov,...

Omogoča oziroma vsebuje tudi:

- popolno podporo GNSS opazovanj z izjemno hitro obdelavo izhodišča in ravnanjem z RTK podatki;
- zemeljsko podporo, vključno z prostorskimi postajami za 3D skeniranje in upravljanja s podatki;
- hitre in točne površine modeliranja;
- obsežen koridor modeliranja in izračunov;
- funkcijsko kodo za ustvarjanje in izvoz map;

- uskladitev izračuna koordinat med koordinatnimi sistemi iz vsega sveta na podlagi transformacije in projekcije;
- celovito prilagoditev omrežja;
- GNSS kalibracijo.

## **5.2 Topcon GPT - 7000i**

### **5.2.1 Predstavitev instrumenta**

Serijski Topconovi instrumenti GPT - 7000i vsebuje poleg osnovnih funkcij še impulzni razdaljemer za merjenje brez prizme do 250m in digitalno kamero, ki omogoča zajemanje digitalne fotografije in tako nudi uporabniku dodatno možnost interpretacije podatkov.

Znotraj serije GPT – 7000i obstajajo različice GPT – 7001i, GPT – 7002i, GPT – 7003i in GPT – 7005i. Kratica GPT (ang. Geodetic Pulse Total station) nam pove, da ima serijski vgrajen impulzni razdaljemer, ki nam omogoča merjenje razdalj brez reflektorja do 250m. Prva številka pove serijo instrumenta, zadnja številka pred črko pove natančnost instrumenta, črka i pa pomeni image (fotografijo), kar pomeni, da ima ta serijski vgrajen CMOS senzor, ki nam omogoča izdelavo slike. Instrumenti od serije 7000 dalje delujejo v Win operacijskem sistemu – OS in imajo velik barvni, na dotik občutljiv ekran.

Pri seriji instrumentov "image" je vgrajena nova tehnologija, ki kombinira enostavnost, zanesljivost in natančnost elektronskih tahimetrov z razvojem digitalne fotogrametrije in s tem zajemanja velike množice podatkov. Realnost terena zajemamo s fotografijami, ki se shranjujejo skupaj z merskimi podatki. Opravljena je lahko vsaka klasična meritev ali pa meritev, ki poleg koordinat vsebuje še ostale informacije. Situacijo na terenu lahko opišemo z

le nekaj meritvami, zajete digitalne slike pa lahko uporabimo za uprizoritev situacije terena v pisarni.

Instrument ima vgrajeno širokokotno CCD kamero za snemanje digitalnih fotografij, precizen razdaljemer, na dotik občutljiv grafični zaslon (Touch Screen), najnovejši operacijski sistem Windows CE, zmogljivo programsko opremo, ki omogoča natančno in hitro izvedbo najbolj zahtevnih meritev.

Medtem, ko registrator podatkov shranjuje terenske informacije, se barvne črte in točke izrisujejo na zaslonu ter tako prikažejo izmerjeno situacijo. S pregledom shranjenih posnetkov lahko hitro odgovorimo na vprašanje: "Ali sem posnel vse?" To lahko storimo vedno preden pospravimo instrument.

Topcon GPT – 7000i je prva serija elektronskih tahimetrov z vgrajeno digitalno kamero, ki omogoča zajem digitalne fotografije skupaj z merskimi podatki. S takim načinom dela se poveča uporabnost zajetih podatkov in razširi možnost uporabe.

Uporabljena je impulzna laserska tehnologija s sistemom ozkega optičnega žarka. Vsebuje laser razreda 1. To omogoča uporabo naprave v skladu z zahtevami na gradbiščih in obljudenih prostorih. Laser razreda 1 je namreč varen in za zdravje operaterja in mimoidočih neškodljiv. S tem je omogočeno natančno merjenje na daljših razdaljah in različnih podlagah. Drugi optični sistem je uporaben za meritve z uporabo prizme. Sistem vsebuje širok meritveni žarek in je zelo stabilen pri meritvah do 3 kilometrov. Visoka stabilnost žarka zagotovi dobro delovanje v težjih pogojih in omogoča natančne meritve kljub temu, da vizura poteka tik ob objektu ali podobnih situacijah, ki lahko vplivajo na potovanje žarka in zmanjšajo natančnost meritev.

"Možgane" za delovanje obravnavane serije instrumentov predstavlja SH7750R (177 MHz mikroprocesor in 64 MB RAM-a. Instrument s tem omogoča hitro izračunavanje in takojšnje zaslonske posodobitve.

Velik 3.5 inčni TFT barvni zaslon (240x320 Dots) prikaže naenkrat veliko količino podatkov in tako omogoča pregledno delo. Vidnost na LCD zaslonu je dobra v vseh vremenskih razmerah tako, da na terenu nimamo problemov ob močnem soncu. Delo na ekranu občutljivem na dotik (ang. touch screen) je zelo poenostavljeno. Za upravljanje z instrumentom imamo na voljo tudi alfanumerično tipkovnico, ki nam omogoča hitro in enostavno uporabo. Tipkovnica in zaslon se nahajata na obeh straneh instrumenta.

Baterijski sistem z LI-Ion baterijami BT-61Q omogoča 7 ur neprestanih meritev. Univerzalni polnilec omogoča hitro polnjenje baterij.

Delo s tahimetrom serije GPT – 7000i je pregledno in enostavno za uporabo. Iz vsakdanjega dela z računalnikom smo vajeni operacijskega sistema Windows CE, kar nam delo na tahimetru poenostavi, zato lahko funkcije, ki nam jih nudi GPT – 7000i, bolj izkoristimo in s tem pripomoremo k hitrejši izvedbi del na terenu. Da operacijski sistem deluje, imajo instrumenti vgrajen 400 MHz-ni mikroprocesor in 128 MB RAM-a. Podatki meritev se shranjujejo na 256 MB velik notranji pomnilnik. Sistem dopušča tudi nadgradnjo programske opreme.



Slika 22: Topcon GPT – 7000i (www.benchmarksupply.com)

### 5.2.2 Opis prenosa izmerjenih podatkov na računalnik

Poznamo več programskih oprem proizvajalca Topcon za prenos podatkov na računalnik. V nadaljevanju sta na kratko opisane dve programski opremi, in sicer Topcon Link in TopSURV.

Topcon Link je programska oprema proizvajalca Topcon. Namestimo jo na osebni računalnik za uvažanje, izvažanje ter obdelavo podatkov. Programska oprema je uporabna za vse proizvode podjetja Topcon. Tako lahko podatke prenašamo z naprave ali na napravo kot so elektronski tahimetri, digitalni nivelirji, GPS sprejemniki, pomnilniška kartica...

Programsko opremo je potrebno naložiti na računalnik. Ta postopek je preprost, saj vstavimo CD, ki smo ga dobili ob nakupu instrumenta. Zaženemo ikono za namestitev in sledimo



ukazom za namestitvev. Program TopSURV ob definiranju nove naloge naredi v točno določeni mapi (My Computer\internaldisk\TopSURV\Jobs), na notranjem disku instrumenta, mapo in datoteko *TLSV*, obe z enakim imenom kot ga ima naloga. V mapo se shranjujejo slike točk, v datoteko *TLSV* pa se shranjujejo vse meritve, ki se opravijo tekom naloge. Datoteka *TLSV* je delovna datoteka instrumenta.

Podatki, meritve in podobe točk, se torej avtomatsko shranjujejo v določeni mapi na notranjem spominu instrumenta. Če želimo točke, ali meritve izvoziti v kakšnem točno določenem formatu, jih lahko izvozimo že direktno iz programa TopSURV, iz delovišča v katerem smo opravili meritve. V primeru izvoza podatkov lahko sami nastavimo mapo na notranjem disku, v katerega naj se ti podatki shranijo.

Najlažji način za prenos podatkov na osebni računalnik je preko programa ActiveSync, ki ga predhodno naložimo na računalnik. Ta program je dodan instrumentu. Program omogoča sinhronizacijo zunanje enote in osebnim računalnikom v primeru, če ima zunanja enota prav tako naloženo katerokoli verzijo operacijskega sistema Windows. Zunanja enota je v tem primeru videotahimeter. Sinhronizacija poteka preko mape My Documents, ki je na zunanji enoti. Mapa My Documents iz notranjega diska instrumenta se ustvari na namizju našega osebnega računalnika, in vsi podatki, ki jih vsebuje instrument v tej mapi, se prenesejo v mapo na namizju. To pomeni, da pred prenosom podatkov iz instrumenta vse podatke, ki nas zanimajo, shranimo v mapo My Documents.

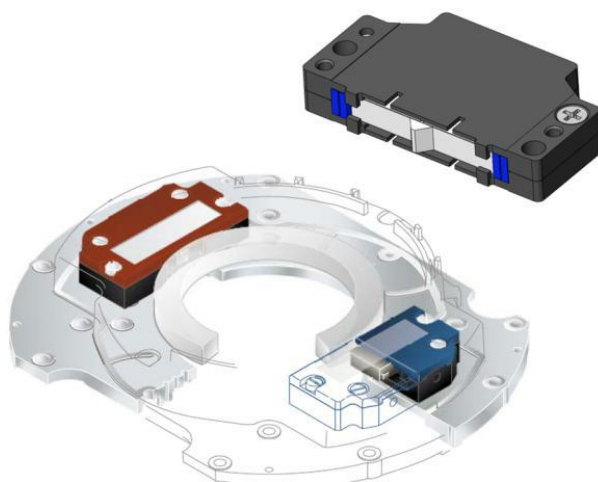
Datoteko *TLSV* lahko odpremo v programu TopconLink, ki je prav tako dodan instrumentu.

Za prenos podatkov iz instrumenta na osebni računalnik imamo na voljo tudi druge načine. Lahko priključimo Bluetooth kartico, ki nam omogoča brezžično povezavo z drugo napravo. Uporabimo lahko tudi mini USB vmesnik, s katerim se fizično povežemo z drugo napravo in tako prenesemo podatke z notranjega pomnilnika. Na voljo imamo tudi razširitveno mesto, v katerega priključimo CF kartico (ang. Compact flash card), ki nam poveča pomnilnik.

## 5.3 Leica TS30

### 5.3.1 Predstavitev instrumenta

Leicin tahimeter TS30 postavlja nova pravila pri izmerah najvišje natančnosti. Omogoča nam zelo visoko natančnost merjenja kotov, razdalj, sistema za samodejno prepoznavanje tarče in motornih pogonov. S tem instrumentom lahko vrhunsko natančnost dosežemo enostavno, hitro in zanesljivo. Ima najboljše zmogljivosti dinamičnega sledenja reflektorja. Patentirani direktni piezzo pogoni so popolnoma tihi. V mirovanju ne trošijo energije, v gibanju pa zagotavljajo presenetljivo zmogljivost: hitrost 200 gon/s, pospešek do 400 gon/s<sup>2</sup>. Najmanjši korak premika je še posebej pomemben za največjo natančnost instrumenta. V TS30 sta diametralno na keramični obroč nameščena dva piezzo kristala s posebnim trikotnim nosom, ki pri vzbujanju z izmenično napetostjo opisujeta elipso in tako obračata instrument. Piezzo pogone odlikuje skoraj neslišno delovanje, varčnost, ničelna poraba energije v mirovanju, velika hitrost in pospešek ter velika robustnost in vzdržljivost.

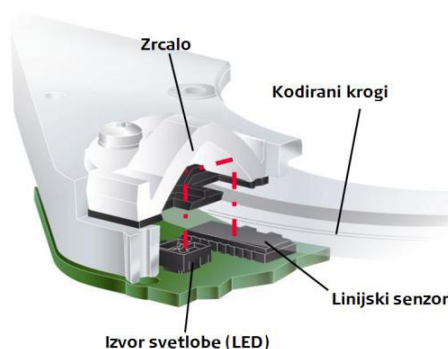


Slika 23: Piezzo pogon ([www.geoservis.si](http://www.geoservis.si))

Koncept upravljanja instrumenta, hitrost postavitve instrumenta, določitve stojišča in orientacije, hitrost iskanja in samodejnega preciznega viziranja reflektorja, merjenja in shranjevanja nam omogoča, da bomo na terenu vedno postavljali rekorde. Z Leico TS30 lahko delamo pri temperaturah od  $-20\text{ }^{\circ}\text{C}$  do  $+50\text{ }^{\circ}\text{C}$ , je izjemno robusten, odporen na vodo in prah in pripravljen za 24/7 delovanje. Nameščena je Leica SmartWorx programska oprema, ki nam nudi vso funkcionalnost, ne glede na to kako kompleksna je naša naloga. Poleg zmogljivosti pa jo odlikuje tudi velika preglednost, logična urejenost in intuitivnost. Kar na prvi pogled izgleda kot tahimeter, je dejansko komponenta v najbolj celovitem sistemu rešitev za merjenje. Leica TS30 nam nudi neomejeno fleksibilnost in nadgradljivost s komponentami Leica Systema 1200, npr. SmartStation, SmartRobotic, SmartPole.

Novo telo instrumenta je izjemno čvrsto, predvsem zaradi nove oblike in tehnologije ulivanja pod nizkim tlakom. Vgrajen ima tretji mikrometerski vijak za eno- ali dvo- ročno upravljanje z instrumentom ter SmartKey tipko za proženje, ki je nameščena v osi instrumenta, tako da pritisk nanjo ne more vplivati na premik instrumenta med meritvijo.

Sistem za merjenje kotov sestavljajo kodirani stekleni krogi, 4 diametralni *enkoderji*<sup>10</sup>, ki zmorejo odčitavanje 5.000-krat v sekundi, ter novo parabolično zrcalo, ki omogoča natančnejše projiciranje črtne razdelbe iz krogov na linijski senzor CCD. Novo telo omogoča tudi 15% večji premer krogov v primerjavi z običajnimi 1" instrumenti.



**Slika 24:** Prikaz sistema za merjenje kotov pri Leici TS30 ([www.geoservis.si](http://www.geoservis.si))

<sup>10</sup> inkrementalni rotacijski dajalniki

PinPoint razdaljemer združuje najboljše iz tehnologij faznega in impulznega razdaljema. Ta razdaljemer izbira merilne frekvence v odvisnosti od okoljskih pogojev. Uporaba dodatnih frekvenc praktično onemogoča neželene večkratnike odboja signala med reflektorjem in instrumentom. S tem instrumentom meritve potekajo še hitreje, posamezni merilni proces vsebuje še večje število meritev, kar pripomore k še večji natančnosti in zanesljivosti.

S posebno anamorfno lečo so merskemu žarku optimizirali obliko in profil (koncentracijo svetlobe).



**Slika 25:** Leica TS 30 ([www.geoservis.si](http://www.geoservis.si))

## **5.4 Leica Viva TS 15**

### **5.4.1 Predstavitev instrumenta**

Leica Viva TS15 dela poklic modernega geodeta zelo zanimivega, saj omogoča uresničevanje vizij. Sodobni elektronski tahimeter, ki se ponaša s tehnološko rešitvijo samodejnega sledenja tarče in daljinskega upravljanja, so nadgradili s kakovostno kamero, kar je velik korak k učinkovitemu in kakovostnemu delu na terenu. Temelji na združevanju najboljših senzorjev za tahimetre na svetu: za merjenje kotov in razdalj, patentiranega samodejnega iskanja reflektorjev in motornih pogonov. Omogoča, da se brezžično povežemo z novim, ergonomsko oblikovanim kontrolerjem. Kontroler Leica CS15 lahko uporabljamo za upravljanje s sprejemnikom GNSS, daljinsko upravljanje s tahimetrom ali celo obeh hkrati. Ima vgrajen barvni zaslon VGA, ki je občutljiv na dotik in popolno QWERTY tipkovnico. Leica Viva kontroler omogoča velik doseg, varno in hitro brezžično povezavo s tahimetrom ali sprejemnikom GNSS. Ima vgrajen fotoaparati ločljivosti 2 megapixla za priročno zbiranje dodatnih podatkov na terenu. Za shranjevanje in posredovanje vseh podatkov imamo na voljo veliko izbiro pomnilniških medijev (CF, SD, USB) in komunikacijskih vmesnikov (WiFi, Bluetooth, USB), poleg tega pa tudi vgrajen FTP odjemalec za učinkovito izmenjavo podatkov med terenom in pisarno.

Terenska programska oprema Leica SmartWorx Viva je preprosta za uporabo in prijazna tako začetniku kot profesionalcu. Uporabnik s pomočjo čarovnikov zlahka izpelje postopke, kot so povezava kontrolerja s senzorjem GNSS ali TPS, ali povezava z referenčno postajo GNSS, saj ga pri nastavitvah korak za korakom vodijo jasni opisi in bogata grafika.

Leica Viva TS15 ima vgrajen razdaljemer PinPoint, ki omogoča najboljše razmerje merilnega dosega, natančnosti, zanesljivosti, vidnosti laserskega žarka, velikosti laserske pike in trajanja meritve. Ima funkcijo PowerSearch, ki omogoča iskanje reflektorja v okolici instrumenta ter funkcijo za samodejno sledenje reflektorju, ki pride prav tudi na najbolj zahtevnih deloviščih.

Omogoča nam, da združimo GNSS in TPS v najbolj učinkoviti obliki. SmartStation lahko uporabimo za določitev stojišč brez uporabe kontrolnih točk, poligonov ali urezov.



Slika 26: Leica Viva TS15 ([www.geoservis.si](http://www.geoservis.si))



Slika 27: Leica Viva TS15 ([www.geoservis.si](http://www.geoservis.si))

## 5.5 Leica SmartPole

### 5.5.1 Predstavitev instrumenta

Leica Geosystems je razvila in proizvedla instrument SmartPole, ki omogoča enostavnejše in fleksibilnejše delo na terenu. Običajne komponente strojne opreme Leica SmartPole lahko v celoti združimo s Sistemom 1200. Prav tako Smart Anteno lahko uporabimo skupaj s tahimetrom TPS 1200 ali SmartStation, skupaj z RX1250 kontrolerjem kot SmartRover ali skupaj s 360° reflektorjem in RX1250 kontrolerjem kot Smart Pole. Združljive komponente strojne opreme zmanjšujejo stroške in povečujejo fleksibilnost uporabe opreme.

Smart Pole komponente:

- **Leica ATX1230 Smart Antena:** Lahka in kompaktna GNSS antena vključuje naj sodobnejšo SmartTrack tehnologijo za prvovrstno sledenje. Za popolno fleksibilnost jo lahko uporabljate skupaj s SmartPole, SmartRover in SmartStation.
  
- **Leica 360° prizma:** edinstvena in lahka 360° prizma vam zagotavlja natančne tahimetrične meritve. Z vgrajenim 5/8" navojem omogoča enostavno pritrditev Smart Antene. Je dovolj robustna, da preživi padec. Zato je idealen reflektor za SmartPole.
  
- **Leica RX1250Tc kontroler:** WindowsCE kontroler ima vgrajen radio modem, ki je združljiv z radio - ročajem tahimetrov TPS 1200, ter barvni zaslon naslednje generacije, z odlično svetilnostjo in kontrastom za vse pogoje. Obenem je energetsko varčen in lahko z njim delate tudi cel dan.

- **Teleskopsko togo grezilo:** Novo togo grezilo ima vgrajeno varovalo, ki onemogoča spremembo višine tudi pri grobem ravnanju. Tako smo lahko vedno popolnoma prepričani v rezultate naših meritev. Mehek, vendar robusten gumijast ročaj zagotavlja udobno držanje tudi pri nizkih temperaturah.



Slika 28: Leica SmartPole ([www.geoservis.si](http://www.geoservis.si))



Slika 29: Leica SmartPole ([www.geoservis.si](http://www.geoservis.si))

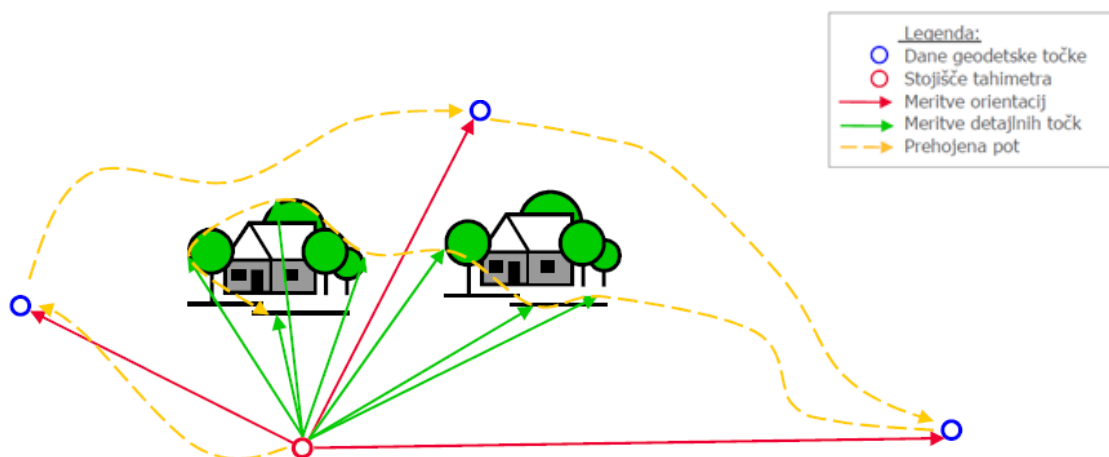


### 5.5.2 Detajlna izmera s SmartPole in primerjava s klasično geodetsko in klasično GPS izmero

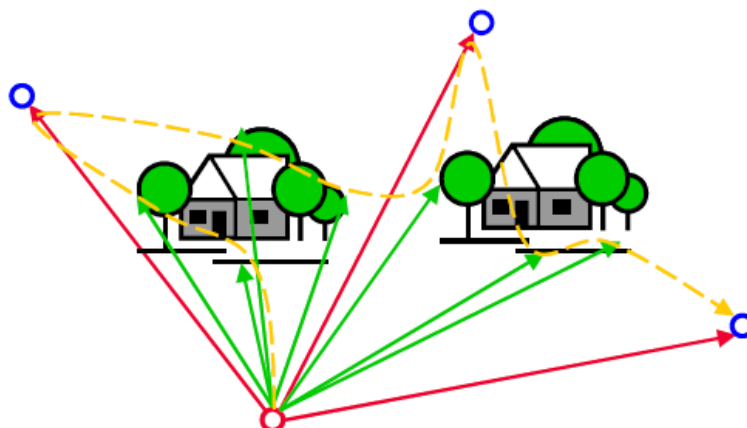
Z instrumentom Leica SmartPole prihranimo čas v pisarni in na terenu, saj ni več potrebno pripravljati geodetskih točk v pisarni in jih nato odkrivati na terenu. Izognemo se časovno zamudnim poligonom, s katerimi pripeljemo znano točko do delovišča in tako omogoča takojšen začetek merjenja. Koordinate stojišča in orientacijo določamo sproti (On the Fly), medtem ko merimo detajlne točke.

Z Leica SmartPole sta vedno na voljo tako TPS kot GPS, da lahko izmerimo prav vsako točko. Kadar je GPS signal omejen zaradi ovir - uporabimo TPS, če med tahimetrom in prizmo ni čiste vizure – uporabimo GPS. Med obema instrumentoma preklopimo z eno samo tipko. Kadarkoli lahko opravimo kontrolno meritev in tako zagotovimo nepreosljivo zanesljivost. Merske naloge sicer ostajajo enake, način, kako opraviti delo, pa se spreminja. Čas za izvedbo terestične detajlne izmere se bistveno skrajša.

Primer izmere detajlne terestične izmere z instrumentom Leica SmartPole:



Slika 30: Klasičen način izmere (www.geoservis.si)



Slika 31: "Smartpole" način izmere (www.geoservis.si)

Za izvedbo klasične terestične detajlne izmere je potrebno veliko hoje, medtem ko je pri "Smartpole" načinu izmere, zaradi optimalne razporeditve danih točk, potrebno bistveno manj hoje. Pri klasičnem načinu izmere morajo biti dane točke določene vnaprej. Če gre za točke obstoječe geodetske mreže, jih je potrebno najti in rekognoscirati. Točke lahko tudi predhodno določimo z GPS-om, vendar jih je v tem primeru potrebno primerno stabilizirati. Pri "Smartpole" načinu pa lahko dane točke določamo sproti z GPS-om. Pri detajlni terestični izmeri z instrumentom SmartPole prav tako ni potrebno biti pazljiv na nastavitev višine antene, saj le ta sam poskrbi za korektno višino antene oziroma prizme.

Prednosti detajlne terestične izmere z instrumentom SmartPole:

- svoboda pri postavitvi tahimetra;
- neodvisnost od obstoječih geodetskih točk;
- prihranek časa za pripravo izmere;
- prihranek časa pri sami izmeri (manj hoje med točkami, dane točke in detajlne točke lahko zajemamo hkrati);
- skoraj vedno zagotovljena dobra geometrija danih točk.

### **5.5.3 Opis prenosa izmerjenih podatkov na računalnik**

Programska oprema predstavlja pomemben komplement geodetskemu inštrumentu. Leica Geosystems nudi širok izbor programskih rešitev, ki predstavljajo enostavno in učinkovito povezavo med merilnim instrumentom za zajem podatkov na terenu ter končno predstavitev rezultatov.

Instrumenti Leica System 1200 hranijo vse podatke (koordinate, kode...) v deloviščih v svoji podatkovni bazi. Prenos posameznih delovišč in izvoz podatkov v poljubni obliki lahko opravite s programskim paketom Leica Geo Office.

Programska oprema predstavlja pomemben komplement geodetskemu instrumentu. Programi Leica Geosystems nam omogočajo, da rezultate terenskega dela v pisarni hitro in učinkovito obdelamo, analiziramo in pripravimo do vrhunskega izdelka. Omenjeni proizvajalec geodetskih instrumentov nam nudi širok izbor programskih rešitev, ki predstavljajo enostavno in učinkovito povezavo med merilnim inštrumentom za zajem podatkov na terenu ter končno predstavitev rezultatov.

Za instrumente Leica Sistem 1200, med katere spada tudi instrument Leica SmartPole, je primeren programski paket Leica Geo Office. Geo Office temelji na intuitivnem grafičnem vmesniku večopravilnega Windows™ okolja, zato je enostaven za učenje in za uporabo. Z njim lahko pregledujemo in urejamo GPS, TPS in DNA podatke ter lahko ločeno ali integrirano obdelujemo meritve. Vsi moduli, ki so integrirani v programski paket, temeljijo na isti filozofiji in imajo enotno zasnovan uporabniški vmesnik. GPS in TPS opazovanja ter meritve nivelmana se v programu enako obravnavajo, s standardiziranimi orodji in logičnim pretokom podatkov. Vgrajena sprotna pomoč in vodiči nudijo izčrpne informacije in nasvete kjer koli jih potrebujemo.

---

Leica Geo Office standardno združuje naslednje značilnosti:

➤ upravljanje s podatki

Z pridobljenimi podatki upravljamo enostavno in učinkovito. Program si lahko popolnoma prilagodimo svojemu načinu dela, zahtevam in potrebam. Zaslone in prikaze si lahko prilagodimo tako, da prikazujejo tisto informacijo, ki jo potrebujemo. Nastavitve v programu nastavimo tako, da podatke uvažamo in izvažamo neposredno v zapisu, ki ga potrebujemo za nadaljnjo uporabo (npr. uvoz KOO ali TOC datoteke, izvoz SCR datoteke in podobno).

➤ grafični prikaz in urejanje

Podatke lahko pregledujemo v različnih grafičnih in tabelarnih prikazih. Program nam omogoča, da podatke predhodno uredimo, preden le te vključimo v nadaljnjo obdelavo in izvozimo. V oknu za grafični prikaz še enkrat preverimo, če so merjeni podatki pravilni.

➤ fleksibilni zapisniki in izpisi

Pripravimo lahko terenske zapisnike meritev, zapisnike kontrolnih meritev, zapisnike naknadne obdelave podatkov... Prilagodimo jih tako, da vsebujejo le želene podatke.

➤ uvoz in izvoz podatkov

Podatke uvozimo iz pomnilniških kartic, neposredno iz GPS sprejemnika, tahimetra in digitalnega nivelirja. Sezname koordinat uvozimo kot ASCII datoteko. Pri tem nam pomaga čarovnik za uvoz podatkov, s katerim nastavimo ločila med kolonami s podatki, vsebino posameznih kolon, decimalno ločilo... Rezultate izvozimo kot ASCII datoteko v poljubni in popolnoma prilagodljivi obliki. Nato prenesemo točke, linije, področja, koordinate in attribute v poljuben GIS, CAD ali kartografski sistem.

➤ orodja za GPS, TPS in DNA

Enotna orodja za GPS sprejemnike GPS1200, tahimetre TPS1200 in digitalne nivelirje DNA so *Codelist Manager* (upravljanje s kodnimi sezname in atributi), *Data Exchange Manager* (prenos podatkov med instrumentom in računalnikom), *Format Manager* (priprava uporabniških zapisnikov) in *Software Upload* (nadgrajevanje systemske in aplikativne programske opreme instrumenta).

## 6 PRIVZET PRIMER PREIZKUSA SISTEMA AVT

Praktičen primer sem prevzela iz diplomske naloge Avtomatski elektronski tahimetri avtorja Mataija Valh Marka. Gre za preizkus sistema AVT v polarni detajlni izmeri, ki ga pri Leici poimenujemo sistem APT.

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 AVT? Proizvajalec zagotavlja nominalno natančnost viziranja z AVT, ki je za potrebe detajlne izmere popolnoma zadovoljiva. Ali je to res?

Pri meritvah je bilo uporabljenih pet detajlnih točk, ki so bile od centrično postavljenega instrumenta oddaljene od 100 do 250m. Neodvisno sta bili izvedeni dve izmeri, in sicer klasična in avtomatizirana, kjer je operater ročno grobo naviziral ciljno točko, fino viziranje pa je opravil sistem AVT. Vsako izmero so zaradi kontrole meritev oziroma eliminacije grobih pogreškov izvedli dvakrat. Merili so tudi trajanje klasične in avtomatizirane detajlne izmere, ki je bilo glavno merilo ovrednotenja meritev.

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

**Preglednica 3:** Primerjave trajanja izvedbe ponovitve klasične in avtomatizirane polarne detajlne izmere (Mataija Valh M., Marjetič A., Ježovnik V., Kogoj D.; 2009; stran 15)

Polarna detajlna izmera	Klasična izmera	Sistem AVT
1. ponovitev	2 min 10 s	1 min 20 s
2. ponovitev	2 min 5 s	1 min 40 s

Drugo merilo za primerjavo izmer so vrednosti ravninskih koordinat izmerjenih točk v posameznih ponovitvah. Meritve, izvedene v merskem prostoru so preračunali v koordinatni prostor, kjer so domnevali, da so koordinate stojišča znane in absolutno točne, orientacijska smer pa ena sama in je obenem os X lokalnega koordinatnega sistema. Orientacijsko točko so po orientaciji obravnavali kot detajlno točko. S tem so 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, so uporabili vrednosti odstopanj koordinat od referenčnih vrednosti. Vsako točko so obravnavali ločeno. Velikosti razlik so primerjali s teoretično natančnostjo določitve koordinate, izračunane na podlagi natančnosti instrumenta, pri čemer so upoštevali zakona o prenosu varianc in kovarianc.

**Preglednica 4:** Odstopanja od referenčnih koordinat in ocenjeni standardni odkloni koordinat detajlnih točk (Mataija Valh M., Marjetič A., Ježovnik V., Kogoj D.; 2009; stran 16)

točka	klasična izmera			izmera AVT		
	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

&gt;&gt;se nadaljuje...&lt;&lt;

>>...nadaljevanje<<

	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

Srednje vrednosti odstopanj koordinat posamezne ponovitve so bile za klasično izmero v intervalu od 1,0 do 4,4 mm. Vrednosti so bile pričakovane, razpršenost je bila relativno velika. Srednje vrednosti odstopanj pri izmeri AVT so se gibale v intervalu od 1,0 do 2,0 mm, kar je bilo bistveno boljše. Tudi homogenost je bila bistveno boljše. Primerjava s teoretičnimi natančnostmi je pokazala, da so bila odstopanja izmere AVT zanesljivo v mejah intervala teoretične natančnosti. Pri klasični izmeri so pri 95 odstotni stopnji zaupanja trdili, da so razlike koordinat znotraj intervala natančnosti.

Tako so ugotovili in preizkusili, da je sistem AVT v detajlni polarni izmeri uporabna in zanesljiva rešitev, saj je kakovost opazovanj dobra, izmera poteka hitreje, hkrati pa zelo razbremeni operaterja.





## 7 ZAKLJUČEK

Namen diplomske naloge je opis hitrega tehnološkega razvoja elektronskih tahimetrov in predstavitev nekaj sodobnih elektronskih tahimetrov različnih proizvajalcev, ki nam zaradi sodobne tehnologije olajšajo geodetsko terestično izmero. 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.

V prvih poglavjih sem predstavila pojma tahimeter in terestična detajlna izmera, nato je opisan razvoj geodetskih terestičnih instrumentov od teodolita do sodobnih elektronskih tahimetrov ter splošne značilnosti avtomatskih sistemov sodobnih elektronskih tahimetrov. Predstavila sem pet sodobnih elektronskih tahimetrov, treh različnih proizvajalcev. Med zbiranjem literature o izbranih instrumentih, sem imela nekaj težav predvsem zaradi uporabe različne terminologije in različnega navajanja tehničnih podatkov med proizvajalci. V petem poglavju je preglednica, s katero sem želela primerjati opisane instrumente med seboj, vendar nekaterih podatkov o določenih instrumentih v literaturi nisem našla oziroma jih ni bilo mogoče pridobiti. Težko je presoditi kateri izmed njih je boljši, saj je odvisno v kakšne namene ga bomo uporabljali in od programske opreme, ki nam jo proizvajalec naloži na instrument. Laični uporabnik oziroma kupec ima tako pri nakupu instrumenta zelo težko nalogo, da se odloči za nakup pravega, saj na internetu zasledimo ogromno reklamnih prospektov različnih proizvajalcev. Naivno je verjeti proizvajalcem in instrument preprosto kupiti brez skrbnega pregleda ponudb različnih proizvajalcev in primerjalnih testov. Relativno mnenje o uporabnosti sistema elektronskega tahimetra je mogoče pridobiti le na podlagi praktičnih izkušenj.

Nad sodobnimi elektronskimi tahimetri in njihovimi avtomatskimi funkcijami sem zelo navdušena, vendar me obenem tudi skrbi za geodetsko stroko, saj se zaradi takšnega razvoja in avtomatizacije instrumentov potrebuje vedno manj ljudi oziroma delovne sile.

## VIRI

Benčić, D. 1990. Geodetski instrumenti. Zagreb, Školska knjiga: 548 str.

Benčić, D., Solarić N. 2008. Mjerni instrumenti i sustavi u geodeziji i geoinformatici. Zagreb, Školska knjiga: 994 str.

Čolić, K. 1974. Razvoj i značaj automatizacije mjerenja. V: Frančula, N. Zbornik radova Komisije za automatizaciju. Zagreb, Savez geodetskih inženjera i geometara Hrvatske: str. 35-50

Deumlich F., Staiger R. 2002. Instrumentenkunde der Vermessungs-techik. Heidelberg, Wichmann: 426 str.

Kogoj, D., Stopar, B. 2001. Geodetska izmera. Gradivo za pripravo na strokovni izpit iz geodetske stroke. Ljubljana, Geodetski inštitut Slovenije: 37 str.

Kogoj, D. 2005. Merjenje dolžin z elektronskimi razdaljemerji. Ljubljana, Univerza v Ljubljani, Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo: 159 str.

Kogoj, D., Ambrožič, T., Savšek, S., Bogatin, S., Marjetič, A., Stopar, B., Radovan, D., Berk, S., Mesner, N. 2006. Navodilo za izvajanje klasične geodetske izmere v novem državnem koordinatnem sistemu. Ljubljana, Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo, Geodetski inštitut Slovenije: 14 str.

Kordež D., 2009. Možnosti uporabe geodetskega tahimetra GPT-7000i v praksi. Diplomaska naloga. Ljubljana, Univerza v Ljubljani, Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo, Oddelek za geodezijo: 95 str.

Mataija Valh M., 2008. Avtomatski elektronski tahimetri. Diplomaska naloga. Ljubljana, Univerza v Ljubljani, Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo, Oddelek za geodezijo: 96 str.

Mataija Valh M., Marjetič A., Ježovnik V., Kogoj D., 2009. Testiranje višjih stopenj avtomatizacije elektronskih tahimetrov. Geodetski vestnik. 53, 1: 18 - 22.

Mataija Valh M., Marjetič A., Ježovnik V., Kogoj D., 2008. Avtomatski elektronski tahimetri ali kam vodi razvoj TPS sistemov. Geodetski vestnik. 52, 3: 487 – 499.

Štular S., 2008. Razvoj tahimetrov. Seminarska naloga. Ljubljana, Univerza v Ljubljani, Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo, Oddelek za geodezijo: 28 str.

Zupančič M., 2010. Uporabnost tahimetra Topcon GPT 7003i pri detajlni topografski izmeri. Diplomaska naloga. Ljubljana, Univerza v Ljubljani, Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo, Oddelek za geodezijo: 65 str.

## Internetni viri

Benchmark Tool & Supply

[www.benchmarksupply.com](http://www.benchmarksupply.com), (15.11.2010)

Tellurometer Model M/RA 1

[http://celebrating200years.noaa.gov/distance\\_tools/tellurometermra1.html](http://celebrating200years.noaa.gov/distance_tools/tellurometermra1.html), (2.12.2010)

Temeljna geodetska izmera

[http://fgg-web1.fgg.uni-lj.si/fgg\\_katedre/index.php?page=static&item=360&get\\_treerot=2](http://fgg-web1.fgg.uni-lj.si/fgg_katedre/index.php?page=static&item=360&get_treerot=2),  
(29.1.2010)

Tahimetrija

<http://www.gdl.si/GeoPro/index.html?tahimetrija.htm>, (29.1.2010)

Geodetski instrumenti

[http://www.geof.hr/~zlastic/Geodetski%20instrumenti\\_predavanja.pdf](http://www.geof.hr/~zlastic/Geodetski%20instrumenti_predavanja.pdf), (15.1.2009)

Leica Viva

[http://www.geoservis.si/download/geonovice/GeoNovice\\_4\\_web.pdf](http://www.geoservis.si/download/geonovice/GeoNovice_4_web.pdf), (15.11.2010)

Elektrooptični tahimetri

<http://www.gisdata.com/Default.aspx?art=1196>, (10.11.2010)

Leica Viva

<http://www.leica.fi/Geo/Tuote/Viva/Viva.html>, (10.11.2010)

Leica Viva TPS

<http://www.leica-geosystems.com>, (2.12.2010)

Teodolit

<http://sl.wikipedia.org/wiki/Teodolit>, (16.1.2009)

Opti-cal Survey Equipment

<http://www.surveyequipment.com>, (19.2.2010)

Tahimeter

<http://t.abecednik.com/tahimeter.html>, (26.1.2010)

Trimble VX Spatial Station

[http://trl.trimble.com/docushare/dsweb/Get/Document-348124/022543261F\\_TrimbleVX\\_DS\\_0110\\_lr.pdf](http://trl.trimble.com/docushare/dsweb/Get/Document-348124/022543261F_TrimbleVX_DS_0110_lr.pdf), (4.1.2010)