

Univerza  
v Ljubljani

Fakulteta  
za gradbeništvo  
in geodezijo



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

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

To je izvirna različica zaključnega dela.

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

Polanec, D., 2014. Razvoj geodetskih instrumentov. Diplomaska naloga. Ljubljana, Univerza v Ljubljani, Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo. (mentor Kogoj, D.): 49 str.

Datum arhiviranja: 21-10-2014

University  
of Ljubljana

Faculty of  
Civil and Geodetic  
Engineering



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

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

This is original version of final thesis.

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

Polanec, D., 2014. Razvoj geodetskih instrumentov. B.Sc. Thesis. Ljubljana, University of Ljubljana, Faculty of civil and geodetic engineering. (supervisor Kogoj, D.): 49 pp.

Archiving Date: 21-10-2014

Univerza  
v Ljubljani

Fakulteta za  
*gradbeništvo in  
geodezijo*



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

UNIVERZITETNI ŠTUDIJSKI  
PROGRAM PRVE STOPNJE  
GEODEZIJA IN  
GEOINFORMATIKA

Kandidatka:

**DEANIRA POLANEC**

**RAZVOJ GEODETSKIH INSTRUMENTOV**

Diplomska naloga št.: 50/GIG

**DEVELOPMENT OF GEODETIC INSTRUMENTS**

Graduation thesis No.: 50/GIG

**Mentor:**

izr. prof. dr. Dušan Kogoj

**Predsednik komisije:**

izr. prof. dr. Dušan Kogoj

Ljubljana, 24. 06. 2014

## **STRAN ZA POPRAVKE, ERRATA**

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

Ta stran je namenoma prazna.

## **IZJAVA O AVTORSTVU**

Podpisana študentka **DEANIRA POLANEC** izjavljam, da sem avtorica diplomske naloge z naslovom: »RAZVOJ GEODETSKIH INSTRUMENTOV«.

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

Izjavljam, da dovoljujem objavo elektronske različice v digitalnem repozitoriju.

Ljubljana, 5.6.2014

Deanira Polanec

Ta stran je namenoma prazna.

## **BIBLIOGRAFSKO – DOKUMENTACIJSKA STRAN Z IZVLEČKOM**

<b>UDK:</b>	<b>528.5 (043.2)</b>
<b>Avtorica:</b>	<b>Deanira Polanec</b>
<b>Mentor:</b>	<b>izr. prof. dr. Dušan Kogoj</b>
<b>Naslov:</b>	<b>Razvoj geodetskih instrumentov</b>
<b>Tip dokumenta:</b>	<b>Diplomska naloga – univerzitetni študij</b>
<b>Obseg in oprema:</b>	<b>49 str., 6 pregl., 15 sl., 2 en.</b>
<b>Ključne besede:</b>	<b>Razvoj geodetskih instrumentov, teodolit, nivelir, razdaljemer, tahimeter, GPS, terestrični laserski skener, laserski sledilnik, geodetska merska tehnologija, Leica, Topcon, Trimble</b>

### **Izveček**

Diplomsko delo zajema opis razvoja geodetskih instrumentov in opis nekaterih instrumentov, ki so trenutno prisotni na tržišču. Razvoj v grobem temelji na štirih obdobjih: arhaičnem, optičnem, elektrooptičnem in elektronskem. Ob koncu poglavij so navedene specifikacije instrumentov vodilnih proizvajalcev. Le-ti pa danes na trgu ponujajo več kot samo merjenje točk, saj nudijo tudi slikovno podporo merjenju, združevanje TPS in GPS sistema ter terestrično lasersko skeniranje, ki predstavlja eno izmed novejših tehnik zajemanja podatkov o objektih v prostoru in o prostoru samem. Skozi razvoj lahko ugotovimo, da sta obratno sorazmerno večala kompleksnost instrumentov in enostavnost njihove uporabe, zaradi česar je prišlo do sprememb v operativnih zahtevah geodeta in do sprememb pri samem postopku merjenja.

Ta stran je namenoma prazna.



## **BIBLIOGRAPHIC – DOKUMENTALISTIC INFORMATION WITH SUMMARY**

<b>UDC:</b>	<b>528.5 (043.2)</b>
<b>Author:</b>	<b>Deanira Polanec</b>
<b>Supervisor:</b>	<b>Assoc. Prof. Dušan Kogoj, Ph.D</b>
<b>Title:</b>	<b>Development of surveying instruments</b>
<b>Document type:</b>	<b>Graduation Thesis – University studies</b>
<b>Scope and tools:</b>	<b>49 p., 6 tab., 15 fig., 2 eq.</b>
<b>Keywords:</b>	<b>Development of geodetic instruments, theodolite, level, distance meter, tachymeter, laser scanner, laser tracker, surveying measurement technology, Leica, Topcon, Trimble</b>

### **Abstract**

The main topic of this bachelor thesis is the development of geodetic instruments and a description of some instruments that are currently present on the market. The development is, roughly speaking, based on four periods: archaic, optical, electro optical and electronic. Instruments' specifications of leading manufacturers are listed at the end of the chapters. On the market, the instruments offer more than just measuring points; moreover, they also provide visual support for measurement, the unification of TPS and GPS system and the terrestrial laser scanning, one of most recent techniques for capturing data about objects in space and the space itself. Through the development we can conclude that the complexity of the instruments and the simplicity of their use increased inversely proportional, which caused changes in the operational requirements of surveyors and in the measurement process itself.

Ta stran je namenoma prazna.

## **ZAHVALA**

Zahvalila bi se mentorju, dr. Dušanu Kogoju, za usmerjanje in pomoč pri izdelavi diplomske naloge.

Zahvaljujem se tudi svoji mami, ki mi je stala ob strani in me podpirala na celotni poti mojega izobraževanja.

Hvala!

## KAZALO VSEBINE

<b>1</b>	<b>UVOD.....</b>	<b>1</b>
<b>2</b>	<b>GEODETSKA MERJENJA IN INSTRUMENTI ZA GEODETSKA MERJENJA.....</b>	<b>2</b>
2.1	Osnovne merske količine geodetskih merjenj.....	2
2.2	Geodetski instrumenti in merska oprema .....	3
<b>3</b>	<b>INSTRUMENTI ZA MERJENJE KOTOV.....</b>	<b>4</b>
3.1	Razvoj teodolita.....	4
3.2	Sodobni teodoliti.....	6
3.3	Prikaz modelov elektronskih teodolitov vodilnih proizvajalcev in njihove karakteristike .....	7
<b>4</b>	<b>INSTRUMENTI ZA MERJENJE VIŠINSKIH RAZLIK.....</b>	<b>8</b>
4.1	Razvoj nivelirja.....	8
4.2	Sodobni nivelirji .....	9
4.3	Pregled tehničnih karakteristik izbranih digitalnih nivelirjev različnih proizvajalcev .....	10
<b>5</b>	<b>INSTRUMENTI IN PRIPOMOČKI ZA MERJENJE DOLŽIN.....</b>	<b>11</b>
5.1	Razvoj razdaljemerov .....	11
5.2	Delitev razdaljemerov .....	12
5.2.1	Razdaljemerji glede na vrsto elektromagnetnega valovanja .....	12
5.2.2	Razdaljemerji glede na način merjenja .....	12
5.2.3	Razdaljemerji glede na doseg in natančnost.....	13
5.3	Sodobni razdaljemerji .....	14
5.4	Pregled tehničnih karakteristik izbranih razdaljemerov različnih proizvajalcev .....	15
<b>6</b>	<b>INSTRUMENTI ZA DOLOČITEV POLOŽAJA TOČK.....</b>	<b>16</b>
6.1	Tahimeter.....	16
6.1.1	Razvoj tahimetrov .....	16
6.1.2	Avtomatizacija elektronskih tahimetrov .....	17
6.1.3	Slikovna podpora merjenju.....	19

6.1.4	Pregled tehničnih karakteristik izbranih elektronskih tahimetrov različnih proizvajalcev.....	23
<b>7</b>	<b>ZDRUŽEVANJE TPS IN GPS sistema.....</b>	<b>25</b>
7.1	GPS (Global Positioning System – Sistem globalnega pozicioniranja) .....	25
7.1.1	Leica SmartStation .....	26
7.1.2	Leica SmartPole.....	27
7.1.3	Trimble Integrated Surveying .....	28
7.1.4	Hybrid Positioning Technology .....	28
<b>8</b>	<b>LASERSKI SKENERJI.....</b>	<b>30</b>
8.1	Terestrični laserski skenerji .....	30
8.1.1	Delitev terestričnih laserskih skenerjev .....	31
8.1.2	Rezultat terestričnega laserskega skeniranja.....	33
8.2	Pregled tehničnih karakteristik izbranih laserskih skenerjev .....	35
<b>9</b>	<b>LASERSKI SLEDILNIKI.....</b>	<b>37</b>
9.1	IFM laserski sledilniki .....	38
9.2	AIFM laserski sledilniki .....	38
9.3	ADM laserski sledilniki.....	39
<b>10</b>	<b>ZNAČILNOSTI SODOBNE GEODETSKE MERSKE TEHNOLOGIJE .....</b>	<b>40</b>
10.1	Filozofija geodetskega merjenja danes.....	40
10.2	Spremembe v operativnih zahtevah geodeta .....	41
<b>11</b>	<b>ZAKLJUČEK.....</b>	<b>44</b>
<b>VIRI.....</b>		<b>45</b>

**KAZALO SLIK**

Slika 1: Geodetski pribor (Geoinstrument, 2014).....	3
Slika 2: Geo Fennel elektronski teodolit (Geoservis, 2014) .....	5
Slika 3 (od leve proti desni): Leica TM5100A (Leica Geosystems, 2002), Topcon DT-205 (Topcon positioning, 2012), Sokkia DT210 (Sokkia, 2007), Trimble DET-2 (InfoEra, 2009).....	7
Slika 4: Nivelir Ni2 (Tuno N., Kogoj D., 2012).....	8
Slika 5: Prikaz toka digitalnega merjenja (Benčić D., Solarić N., 2008) .....	10
Slika 6 (od leve proti desni): Leica DNA03 (Leica Geosystems, 2006) , Sokkia SDL30 (GLM, 2014), Topcon DL-101C (Al Nibras, 2000), Trimble DiNi12 (Geoteam, 2014). .....	10
Slika 7: Tellurometer (Unsw, 2014).....	11
Slika 8 (od leve proti desni): Leica Viva TS15 (Leica Geosystems, 2014), Trimble VX Spatial Station (Trimble, 2014), Topcon GPT-7000i (Topcon positioning, 2006) .....	24
Slika 9: Leica SmartStation (LeicaGeosystems, 2014).....	26
Slika 10: Prostorski oblak točk (Geoservis, 2014) .....	34
Slika 11 (od leve proti desni): Leica Scan Station P20 (Leica Geosystems, 2014), Trimble TX8 (Al-top, 2013), Topcon GLS-1500 (Topcon positioning, 2013).....	35
Slika 12: Laserski sledilnik (Quality Digest, 2014).....	37
Slika 13: Leica AT402 (LeicaGeosystems, 2014).....	39
Slika 14: Proces merjenja v preteklosti (Staiger, R., 2009) .....	41
Slika 15: Proces merjenja v sedanjosti (Staiger, R., 2009) .....	42

## KAZALO PREGLEDNIC

Preglednica 1: Karakteristike elektronskih teodolitov vodilnih proizvajalcev.....	7
Preglednica 2: Karakteristike digitalnih nivelirjev vodilnih proizvajalcev.....	10
Preglednica 3: Karakteristike izbranih razdaljemerov.....	15
Preglednica 4: Poimenovanje sistemov višjih stopenj avtomatizacije različnih proizvajalcev.....	19
Preglednica 5: Karakteristike izbranih elektronskih tahimetrov.....	23
Preglednica 6: Pregled tehničnih karakteristik izbranih laserskih skenerjev.....	35

Ta stran je namenoma prazna.



## 1 UVOD

Merjenje ima v razvoju človeštva zelo pomembno vlogo. Mnoga ljudstva so že pred našim štetjem potrebovala osnovne meritve pri vsakodnevni opravi. Odkar je prvi človek poskušal izmeriti prostor, v katerem je živel, pa lahko govorimo o obstoju geodezije. Sledi prve praktične geodezije, ki je bila v tistem času tesno povezana z razvojem astronomije, segajo vse do leta 6000 pr.n.št., v čas mezopotamskih kultur, Babiloncev in Asircev ter ostalih ljudstev iz doline Evfrata in Tigrisa. O vlogi geodeta pričajo do 160 kilometrov dolgi kanali, zgrajeni za potrebe namakanja v Mezopotamiji ter znane stavbe, kot so na primer babilonski viseči vrtovi, saj lahko trdimo, da so to bile zelo kompleksne konstrukcije, ki so zahtevale izredno dobro in natančno merjenje. Še večji razcvet je geodezija doživela v času antičnih kultur, Grki in Rimljani so namreč v geodetsko izmero vnesli veliko novosti in spoznali, kar je najpomembnejše, da je Zemlja okrogla. Z naglim razvojem civilizacij pa je rasla tudi potreba po vedno boljši in natančnejši opremljenosti ter instrumentih. Najstarejši merski pripomočki so služili ugotavljanju vertikalnosti in horizontalnosti objektov. Groma, prvi enostavni geodetski instrument, pa je bil ustvarjen v 4. stoletju pr.n.št. Uporabljali so ga Grki in Etruščani, kasneje pa so ga prevzeli Rimljani. Instrument je služil za določanje in zakoličevanje pravih kotov. Sestavljali so ga stativ, križ, os vrtenja križa in pet vrvic (dva para, ki sta visela na koncih križa in ena, ki je visela z osi vrtenja). Gromo so uporabljali v gradbeništvu in urbanizmu, pri delitvi zemljišč in v vojaške namene. Geodetski instrumenti so se z odkrivanjem naprednejših materialov in optičnih lastnosti snovi skozi stoletja izboljševali.

Danes so geodetski stroki na voljo instrumenti velikih zmogljivosti. V veliki meri so kombinirani z računalniško tehnologijo, tako pri meritvah, izračunih kot tudi pri izdelavi geodetskih posnetkov. V drugi polovici preteklega stoletja se je svet seznanil tudi z novo GPS tehnologijo, ki je danes postala del vsakdana tudi za ljudi izven geodetske stroke.

GPS sprejemniki so danes že fizično združljivi z elektronskimi tahimetri in s kombiniranjem klasične terestrične izmere in RTK GPS geodetske izmere omogočajo izjemno natančno določitev položaja.

Novost v stroki je terestrično lasersko skeniranje in uporaba laserskih sledilnikov za določitev oziroma izračun prostorskih koordinat merjenega objekta.

Diplomska naloga zajema kratek zgodovinski pregled instrumentov za merjenje kotov, višinskih razlik, razdalje in določanje položaja ter opis nekaterih sodobnih instrumentov. Literature na to temo ni veliko. Pri pisanju diplomske naloge sem uporabljala predvsem strokovne članke, pomagala pa sem si tudi s specifikacijami, ki so navedene na spletnih straneh proizvajalcev geodetskih instrumentov.

## **2 GEODETSKA MERJENJA IN INSTRUMENTI ZA GEODETSKA MERJENJA**

Merjenje je osnova vseh geodetskih del. V splošnem je merjenje primerjava dveh istovrstnih količin, od katerih je ena količina enota ali etalon. Osnovni cilj geodetskih merjenj je določitev merskih in opisnih podatkov za določitev položaja karakterističnih točk terena in predmetov z numeričnim ali grafičnim prikazom. Položaj v ravnini je določen z dvema koordinatama, za prostorski položaj točke pa potrebujemo še tretjo koordinato, nadmorsko višino. V sodobno geodezijo je bila vpeljana še četrta, časovna koordinata. V vsakem merilnem procesu pa je glavni akter človek.

### **2.1 Osnovne merske količine geodetskih merjenj**

Z merjenjem osnovnih količin pridobimo podatke za določitev prostorskega položaja točk. Mednje uvrščamo dolžine, horizontalne kote in višinske razlike.

Z dolžino ali razdaljo opisujemo velikost najkrajše zveznice med dvema točkama, običajno imamo v mislih dolžino geodetske linije. S pomočjo računskih operacij lahko na osnovi merjenih razdalj posredno določimo tudi druge količine, na primer kot lahko določimo z merjenjem dolžin stranic trikotnika ali z merjenjem dolžine loka in polmera kroga. (Benčič D., Solarić N., 2008)

Kot je del ravnine, ki ga omejujeta dva poltraka s skupnim začetkom. V geodeziji merimo horizontalni kot, katerega kraka ležita v horizontalni ravnini ter višinski kot, o katerem govorimo, kadar eden izmed krakov vertikalnega kota leži v horizontalni ravnini. Višinski kot potrebujemo za določitev višinskih razlik. (Benčič D., Solarić N., 2008)

Višinske razlike med točkami lahko določimo na osnovi merjenih vertikalnih kotov med točkami v kombinaciji z uporabo trigonometričnih enačb.

Skozi stoletja je merjenje kotov dominiralo, kar je predvsem posledica hitrega in kakovostnega razvoja teodolitov, ki so omogočili izjemno natančno merjenje kotov in klasično merjenje dolžin postavili na stranski tir. To dejstvo se je spremenilo z uveljavitvijo elektronskega merjenja, pravi pomen pa je merjenju dolžin povrnil razvoj elektronske tahimetrije. Danes je merjenje dolžin v geodeziji najboljše področje glede na število in različnosti konstrukcije instrumentov. (Benčič D., Solarić N., 2008)

## 2.2 Geodetski instrumenti in merska oprema

Funkcionalnost geodetskih instrumentov je zasnovana na fizikalnih zakonitostih optike, mehanike in elektronike.

Osnova delitve oziroma klasifikacije geodetskih instrumentov je vrsta iskane merske količine. Tako geodetske instrumente delimo na:

1. instrumente za merjenje kotov,
2. instrumente za merjenje višinskih razlik,
3. instrumente za merjenje dolžin,
4. instrumente za določanje položaja.

Razvoj geodetskih instrumentov lahko v grobem uvrstimo v štiri obdobja: arhaično, optično, elektrooptično in elektronsko. Prvo, arhaično obdobje, je trajalo najdlje, vse do izuma teleskopa leta 1590. Z naglim razvojem tehnologije je bil tudi razvoj geodetskih instrumentov v prihodnjih stoletjih vedno hitrejši. Čez dobrih 300 let, leta 1924, je bil svetu predstavljen prvi moderni elektrooptični teodolit. Še v istem stoletju pa se že srečamo z elektronskimi instrumenti in kasneje tudi z njihovo popolno avtomatizacijo. (Staiger, R., 2009)

Trenutno med proizvajalci geodetskih instrumentov na trgu prevladujejo Leica, Trimble in Topcon. Med vidnejše proizvajalce sodijo še Sokkia, Pentax, Geofennel, Nedo, South Survey, Eurosit in drugi.

Geodetski pribor je pri sami izmeri ključnega pomena, saj omogoča večjo produktivnost. Brez pribora bi bilo meritve težko oziroma skoraj nemogoče izvesti. Med pribor ključnega pomena uvrščamo stativo, nivelmanske late, prizme, reflektorje, trasirske, merske trakove, termometre, higrometre in barometre.



Slika 1: Geodetski pribor (Geoinstrument, 2014)

### 3 INSTRUMENTI ZA MERJENJE KOTOV

Geodetski instrument za merjenje horizontalnih in vertikalnih kotov se imenuje teodolit. Še nedolgo nazaj je sodil med najpogosteje uporabljene instrumente v geodeziji, saj v kombinaciji z drugimi napravami ponuja mnogo več kot le merjenje kotov. Poznamo mehanski, optični in elektronski teodolit.

#### 3.1 Razvoj teodolita

Prvi opis teodolita lahko zasledimo v zemljemerskem učbeniku Pantomeria, izdanem leta 1571, avtorja astronoma Thomasa Diggesa, čigar oče, Leonard Digges, velja za izumitelja omenjenega instrumenta. Prva različica teodolita je bila preprosta – razdeljen krog in kvadrat s kompasom v centru, manjkal mu je teleskop, ki se je, nameščen na vrhu merilne naprave, pojavil v sredini 17. stoletja. (Benčič D., Solarić N., 2008)

Po dveh stoletjih raziskav, izboljšav in nadgrajevanj, je v poznem 18. stoletju mehanski teodolit dosegel svojo končno osnovno obliko, za katero je zaslužen angleški izumitelj Jesse Ramsen. Njegov najbolj znan izdelek je bil vertikalni krog, dolžine 5 čevljev (1524 mm). V praksi je prvi izpeljal postopek odčitavanja kotov in zgradil veliki teodolit, s katerim je postavil temelje merjenja zemljišč. (Benčič D., Solarić N., 2008)

Prvi pravi mehanski teodoliti so bili izdelani konec 18. stoletja in so se skozi zgodovino neprestano izboljševali. Izboljševala se je kvaliteta mehanskih delov, optika daljnogleda in natančnost libel. (Benčič D., Solarić N., 2008)

V začetku preteklega stoletja so nepraktične mehanske teodolite pričeli postopno zamenjevati optični. Za njihov pojav je zaslužen Švicar Henrich Wild, ki je leta 1911 v tovarni Carl Zeiss v Nemčiji skonstruiral teodolit s preslikavanjem diametralnih mest kroga v vidno polje mikroskopa, kjer se je s pomočjo mikrometrskega vijaka odčitalo sliko. (Benčič D., Solarić N., 2008)

V drugi polovici prejšnjega stoletja se je s poizkusom eliminacije človekove vloge pri odčitavanju in stvaritvijo kontinuiranega toka podatkov od instrumenta do računalnika pričel razvoj elektronskih oziroma digitalnih teodolitov. Prvi elektronski teodolit je leta 1963 izdelal Fennel. (Benčič D., Solarić N., 2008)

V osnovi je elektronski teodolit optični teodolit z naslednjimi elektronskimi dodatki:

- elektronski način določanja odčitkov na krogih,
- elektronski dodatek kompenzatorju za ugotavljanje nagnjenosti vertikalne osi,
- digitalni zapis merskih vrednosti,
- notranji procesor za takojšnjo obdelavo merskih vrednosti,
- določitev indeksnega pogreška pri merjenju vertikalnih kotov,
- lasersko grezilo,
- avtomatsko prepoznavanje tarče.

(Benčić D., Solarić N., 2008)



**Slika 2: Geo Fennel elektronski teodolit  
(Geoservis, 2014)**

Razvoj elektronskih teodolitov je tesno povezan z razvojem elektronskih tahimetrov, saj je bil prvi instrument z elektronskim krogom elektronski tahimeter.

### 3.2 Sodobni teodoliti

Mehanski in optični teodoliti danes niso več v uporabi. V 90-ih letih so tržišče popolnoma prevzeli elektronski. Danes elektronske teodolite za gradbene potrebe in precizne geodetske meritve izpodrivajo elektronski tahimetri.

Elektronski teodolit ima vse osnovne dele in funkcije konvencionalnih teodolitov. Poleg tega ima vgrajene elektronske sestavine, ki predstavljajo temelj njegovi funkcionalnosti.

Z elektronskim teodolitom pridobimo kotne vrednosti v taki obliki, da omogoča registracijo in avtomatsko obdelavo podatkov, kar pomeni, da se podatki lahko avtomatsko prenesejo v pomnilnik in nadalje v module neprekinjenega toka, kot je na primer računalnik. Avtomatska registracija razbremeni operaterja, hkrati pa tudi pospešuje proces registracije podatkov, saj ni ročnega vnosa, s čimer se tudi eliminira pogreške optičnega odčitavanja in vnosa. Digitalni prikaz horizontalnega in vertikalnega kota na zaslonu omogoča hiter in pregleden način odčitavanja. (Karamustafić A., 2007)

Delni rezultati obdelave meritev na terenu s pomočjo računalnika omogočajo neposredno računanje in odkrivanje slabih meritev in njihovo odpravo s sprotimi naknadnimi merjenji. S tem se znatno poveča ekonomičnost merjenja. (Karamustafić A., 2007)

Z uporabo mikroročunalnikov z mikroprocesorjem, kot sistemsko enoto za upravljanje z odgovarjajočim programom, enoto za shranjevanje podatkov ter vhodno in izhodno enoto, je funkcija elektronskega teodolita znatno razširjena, saj so omogočena dodatna računanja. Instrumentalni pogreški so nadzorovani z avtomatskim korigiranjem rezultatov merjenja, kar omogoča tudi merjenje v samo eni krožni legi. Elektronske sestavine omogočajo tudi odkrivanje in prikaz nekaterih drugih pogreškov, kot je nagib vertikalne osi v dveh karakterističnih smereh. (Karamustafić A., 2007)

Elektronski teodoliti tako omogočajo avtomatsko registracijo podatkov, avtomatsko obdelavo in sprotno kontrolo meritev. S pojavom razdaljemerov je prišlo do nadgradnje teodolitov v tahimetre, univerzalne geodetske instrumente, ki omogočajo tudi merjenje dolžin in imajo nekaj milimetrsko natančnost. Kombinacija z razdaljemerom je omogočila tudi višje stopnje avtomatizacije postopkov merjenja smeri, kot sta avtomatsko prepoznavanje in avtomatsko sledenje tarče.

### 3.3 Prikaz modelov elektronskih teodolitov vodilnih proizvajalcev in njihove karakteristike

Preglednica 1: Karakteristike elektronskih teodolitov vodilnih proizvajalcev

Model	Leica TM5100A	Topcon DT-205	Sokkia DT210	Trimble DET-2
Povečava daljnogleda	32x	30x	30x	30x
Natančnost merjenja kotov (ISO 17123-3)	0.5"	1"/5"	1"	2"
Natančnost kompenzatorja	0.3"	3" (samo vertikalni kompenzator)	1"	1"/5"
Avtomatska korekcija instrumentalnih pogreškov	DA	DA	DA	DA
Avtomatska obdelava meritev	DA	DA	DA	DA
Masa instrumenta	7.3 kg	4.1 kg	4.7 kg	4.5 kg



Slika 3 (od leve proti desni): Leica TM5100A (Leica Geosystems, 2002), Topcon DT-205 (Topcon positioning, 2012), Sokkia DT210 (Sokkia, 2007), Trimble DET-2 (InfoEra, 2009)

## 4 INSTRUMENTI ZA MERJENJE VIŠINSKIH RAZLIK

Osnovni instrument za merjenje višinskih razlik v geometričnem nivelmanu je nivelir, čigar najpomembnejša funkcija je zagotavljanje horizontalne smeri opazovanja.

### 4.1 Razvoj nivelirja

Nivelir se je prvič pojavil z odkritjem daljnogleda v začetku 17. stoletja in še posebej z odkritjem cevne libele. Za konstrukcijo prvega geodetskega instrumenta z daljnogledom za merjenje višinskih razlik je zaslužen profesor Jean-Felix Picard. (Benčič D., Solarić N., 2008)

Razvoj nivelirjev z libelami se je pričel v začetku 18. stoletja. Cevne libele so bile sprva slabe kvalitete in majhne natančnosti, konec 18. stoletja pa so že dobile pravilno obliko. Leta 1770 je bila odkrita še dozna libela, leta 1857 pa je bil zgrajen prvi nivelir z reverzijsko libelo. Prve prave izboljšave nivelirja z libelo so realizirane s konstrukcijami Heinricha Wilda. Razvil je tudi notranje ostrenje, cilindrično vertikalno os, mikrometer s planparalelno ploščo ter invarske late za precizni nivelman. (Tuno N., Kogoj D., 2012)



Slika 4: Nivelir Ni2 (Tuno N., Kogoj D., 2012)

Proces razvoja nivelirja se je znatno spremenil, ko se je leta 1950 pojavil nivelir Ni2 s kompenzatorjem namesto libele. S tem je bilo omogočeno avtomatsko horizontiranje vizurne linije. Ker je bilo merjenje s tovrstnimi inštrumenti hitrejše, so kmalu postali dominantni na tržišču. (Tuno N., Kogoj D., 2012)

Leta 1973 so se prvič pojavili laserski nivelirji s sistemom, ki vrti laserski žarek. S tem se ustvarja horizontalna svetlobna referenčna ravnina. Istočasno se lahko meri na vse točke, ki se nahajajo na oddaljenosti do 250 metrov od instrumenta (posledica večje oddaljenosti je slaba natančnost). Referenčna ravnina se lahko nagne za določen kot, kar omogoča vsestransko uporabo. Laserski nivelirji so primerni za reševanje specifičnih nalog v inženirski geodeziji. Njihova omejena natančnost ne dovoljuje uporabe teh instrumentov za reševanje klasičnih geodetskih nalog. (Tuno N., Kogoj D., 2012)

Leta 1990 je tovarna Wild (Leica Geosystems) razvila prvi digitalni nivelir. V osnovi so digitalni nivelirji avtomatski nivelirji z izpopolnjenimi funkcijami pridobivanja in obdelave slike. Prav tako



omogočajo shranjevanje merskih podatkov. Niveliranje z njimi je mnogo enostavnejše in hitrejše. (Tuno N., Kogoj D., 2012)

## 4.2 Sodobni nivelirji

Glede na način horizontiranja jih delimo na:

- optični nivelir (nivelir z nivelacijsko libelo),
- digitalni nivelir (nivelir s kompenzatorjem oz. avtomatskim horizontiranjem vizure).

Natančnost nivelirjev opisujemo s standardnim odklonom kilometra dvojnega nivelmana –  $\sigma_{0,1h}$  in jih po natančnosti razvrstimo v pet skupin:

- majhne natančnosti ( $> 10\text{mm/km}$ ),
- srednje natančnosti ( $< 10\text{ mm/km}$ ),
- visoke natančnosti ( $< 3\text{ mm/km}$ ),
- zelo visoke natančnosti ( $< 1\text{ mm/km}$ ),
- najvišje natančnosti ( $< 0.5\text{ mm/km}$ ).

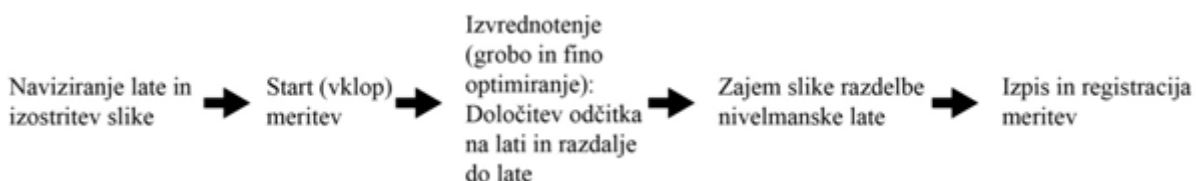
Danes so v uporabi predvsem digitalni nivelirji, saj so s svojimi prednostmi praktično že izpodrinili klasične nivelirje in predstavljajo nove standarde na področju niveliranja. So kompleksni elektronski inštrumenti, ki pa so za uporabo enostavni. Določanje odčitkov na lati in njihova registracija so popolnoma avtomatizirani. Princip horizontiranja vizurne osi se ne razlikuje od horizontiranja pri klasičnih instrumentih, zato je ustrezna kontrola instrumenta in uporaba primarnega postopka meritev še vedno potrebna. Na pogled se sodobni digitalni nivelirji bistveno ne razlikujejo od klasičnih. Sestavljajo jih enaki optični in mehanski deli kot optične nivelirje s kompenzatorjem, zato omogočajo tudi klasična opazovanja. (Kogoj D., Stopar B., 2001)

Digitalne nivelirje uporabljamo za prenašanje geodetskih višinskih razlik ter določanje višin reperjev ter drugih točk. Prednosti elektronskega niveliranja so:

- večja hitrost merjenja,
- zanesljivost odčitkov,
- avtomatski zapis meritev v pomnilnik,
- hitrejši prenos podatkov.

(Kogoj D., Stopar B., 2001)

Tok digitalnega merjenja:



Slika 5: Prikaz toka digitalnega merjenja (Benčič D., Solarič N., 2008)

### 4.3 Pregled tehničnih karakteristik izbranih digitalnih nivelirjev različnih proizvajalcev

Preglednica 2: Karakteristike digitalnih nivelirjev vodilnih proizvajalcev

Tip instrumenta	Leica DNA03	Leica DNA10	Sokkia SDL30	Topcon DL-101C	Topcon DL-102C	Trimble DiNi12	Trimble DiNi22
Natančnosti merjenja višinske razlike (ISO 17123-2)	0.3 mm	0.9 mm	0.6 mm	0.4 mm	1 mm	0.3 mm	0.7 mm
Merilni doseg	1.8 m – 110 m		1.6 m – 100 m	100 m		1.5 m – 100 m	
Natančnost merjenja razdalje	1 cm – 5 cm		1 cm – 20 cm	1 cm – 5 cm		1 cm – 5 cm	
Čas meritve	3 s		3 s	3 s		3 s	2 s
Povečava teleskopa	24x		32x	32x	30x	32x	26x
Masa instrumenta	2.8 kg z baterijo		2.4 kg z baterijo	2.8 kg z baterijo		3.5 kg	Kg



Slika 6 (od leve proti desni): Leica DNA03 (Leica Geosystems, 2006), Sokkia SDL30 (GLM, 2014), Topcon DL-101C (Al Nibras, 2000), Trimble DiNi12 (Geoteam, 2014).

## 5 INSTRUMENTI IN PRIPOMOČKI ZA MERJENJE DOLŽIN

Med instrumente za merjenje dolžin uvrščamo mehanski, optični in elektronski razdaljemer.

### 5.1 Razvoj razdaljemerov

Najstarejši način merjenja dolžin je neposredno mehansko merjenje, ki se je začelo s primitivnimi načini merjenja (na primer s korakanjem). Problem tovrstnega merjenja je bila raznolikost osnovnih enot. S sprejetjem mednarodnih merskih enot leta 1875 je bil na področju merjenja dolžin narejen izjemno velik korak. (Benčič D., Solarić N., 2008)

Enega prvih znanih načinov merjenja dolžin predstavlja merilno kolo, ki se še danes uporablja za merjenje dolžin z nizko natančnostjo (negeodetski način). Za mehansko merjenje se še danes uporabljajo merski trakovi. (Benčič D., Solarić N., 2008)

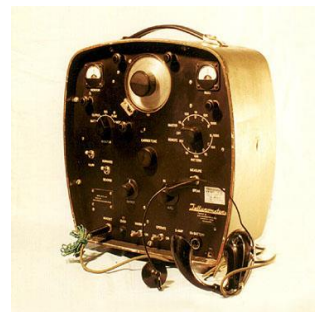
Ko je leta 1674 Montanari uporabil napravo z nitmi za merjenje razdalje, se je pričel razvoj optičnih razdaljemerov. Leta 1810 je niti geodetskemu merjenju prilagodil G. Reichenbach (Reichenbachov razdaljemer ali trinitni tahimeter). (Benčič D., Solarić N., 2008)

V tridesetih letih 20. stoletja so se prvič pojavili elektrooptični razdaljemerji. Prvi elektronski razdaljemer, primeren za merjenje dolžin za geodetske potrebe, je bil skonstruiran leta 1949. (Kogoj D. 2005)

Osnovni princip merjenja dolžin z elektronskimi razdaljemerji je določitev velikosti dolžine na osnovi izmerjenega časa, v katerem elektromagnetno valovanje prepotuje razdaljo med začetno in končno točko. (Kogoj D., 2005)

Prvi elektronski razdaljemer je razvil švedski geodet Bergstrand. Imenoval se je geodimeter in je uporabljal vidno svetlobo. Deloval je na faznem principu merjenja, njegov doseg je bil 40 kilometrov, uporabljati pa ga je bilo mogoče samo v mraku in temi. Bil je velik in okoren. (Kogoj D., 2005)

Leta 1965 je bil izdelan prvi mikrovalovni razdaljemer, ki je zagotavljal geodetsko natančnost. Njegov doseg je bil 80 kilometrov, deloval je na faznem principu merjenja, meritve pa je bilo mogoče izvajati tudi podnevi. Imenoval se je Tellurometer. (Kogoj D., 2005)



Slika 7: Tellurometer (Unsw, 2014)

Pojav prvih elektronskih razdaljemerov je omogočil hitrejše, bolj ekonomično in učinkovitejše merjenje dolžin. Bistvene izboljšave so majhna masa in velikost instrumentov, večji doseg, večja natančnost razdaljemerov, uveljavitev impulznega načina merjenja ter uvedba dinamičnega merjenja dolžin. (Kogoj D., 2005)

## **5.2 Delitev razdaljemerov**

Razdaljemere delimo glede na vrsto elektromagnetnega valovanja, način merjenja in glede na doseg ter natančnost.

### **5.2.1 Razdaljemeri glede na vrsto elektromagnetnega valovanja**

Glede na valovno dolžino uporabljenega elektromagnetnega valovanja, razdaljemere razvrstimo v dve skupini:

- mikrovalovne in
- elektrooptične razdaljemere.

Čeprav je bila razširjenost mikrovalovnih razdaljemerov nekdaj velika, danes več niso v serijski proizvodnji. Razlogov za to je več. Omenjeni razdaljemeri so občutljivi na spremenljive pogoje v atmosferi, skozi katere se valovanje širi. Zaradi večje valovne dolžine obstaja večja možnost za odstopanja od premočrtnosti širjenja valovanja. Zaradi tega se valovanje odbija od bližnjih objektov ali terena in tako prihaja do lažnih signalov, ki kvarijo natančnost merjenja. Prednost mikrovalovnih razdaljemerov je, da niso vezani na vidnost. (Kogoj D., 2005)

Elektrooptični razdaljemeri so, za razliko od mikrovalovnih, vezani na vidnost in imajo zmanjšan doseg merjenja zaradi večje absorpcije in sipanja svetlobe v atmosferi. Se pa elektrooptični razdaljemeri še danes uporabljajo za merjenje dolžin v geodeziji. (Kogoj D., 2005)

### **5.2.2 Razdaljemeri glede na način merjenja**

Glede na način merjenja elektrooptične razdaljemere razdelimo v tri skupine:

- impulzni razdaljemeri,
- interferenčni razdaljemeri in
- fazni razdaljemeri.

Osnovni princip merjenja z impulznimi razdaljmeri je najenostavnejši, saj temelji na direktnem merjenju časa, ki ga svetlobni impulz potrebuje, da prepotuje razdaljo od razdaljemera do reflektorja in nazaj. (Kogoj D., 2005)

Interferenčni razdaljmeri izkoriščajo fizikalni pojav interference svetlobe. Dva koherentna svetlobna žarka združimo (koherentna = imata enaki frekvenci, valovni dolžini in stalno fazno razliko). Z združitvijo nastane interferenčna slika, katere oblika je odvisna od fazne razlike med žarkoma. Ko žarka nihata v fazi, se ojačita in interferenčna slika je seštevek velikosti amplitud žarkov. Če je njuna fazna razlika enaka  $\pi$ , oslabita, amplitudi pa se med seboj odštejeta, zato dobimo temo. (Kogoj D., 2005)

Delovanje faznih razdaljmerov temelji na moduliranem elektromagnetnem valovanju (modulacija = združitev dveh ali več valovanj iste vrste). Dve elektromagnetni valovanji, ki ju združujemo, se lahko ujemata v fazi ali frekvenci ali pa imata oba elementa različna. (Kogoj D., 2005)

### 5.2.3 Razdaljmeri glede na doseg in natančnost

Glede na doseg in natančnost razdaljemere delimo na:

- EOR največjega dosega [ $60 \text{ km} > D > 15 \text{ km}$ ]
  - natančnost je nekaj mm do nekaj cm + (1 – 5) ppm
- EOR srednjega dosega [ $15 \text{ km} > D > 3 \text{ km}$ ]
  - natančnost je 1 - 5 mm + (1 – 3) ppm
- EOR kratkega dosega [ $D < 3 \text{ km}$ ]
  - natančnost je 3 mm + 2 ppm
- Precizni elektronski razdaljmeri
  - v to skupino spadajo najnatančnejši EOR, ki delujejo na običajen fazni način ali na fazni način z uporabo dvobarvne svetlobe
  - doseg: 1,5 km – 8 km
  - natančnost:
    - običajni: 0,1 – 0,5 mm + (0,2 – 0,5) ppm
    - dvobarvni: 0,1 – 0,5 mm + (0,1 – 0,3) ppm

(Kogoj D., 2005)

Precizni razdaljmeri se uporabljajo za merjenje dolžin največje natančnosti, za določevanje premikov v preciznih mikromrežah, za najnatančnejše zakoličbe v inženirski geodeziji itd.

### 5.3 Sodobni razdaljemer

Za terestrične meritve se danes uporabljajo elektrooptični razdaljemer, ki pri svojem delovanju uporabljajo vidno ali infrardečo svetlobo. Čeprav omenjeni instrumenti na različne načine neposredno ali posredno določijo čas potovanja elektromagnetnega valovanja, je njihova osnovna zgradba podobna. Svetilo v instrumentu je izvor visokofrekvenčnega elektromagnetnega valovanja. Svetlobni žarek se glede na način meritev primerno preoblikuje in preko oddajne optike nato usmeri proti reflektorju. Merski signal, ki se vrne v instrument, ima tudi do milijon-krat manjšo svetlobno jakost (zaradi divergence in absorpcije svetlobe v atmosferi). Na fotodetektorju se spremeni v električni signal, ki se ojača in primerja z referenčnim. Rezultat primerjave signalov je vrednost merjene dolžine. (Kogoj D., 2005)

Pri specifičnih nalogah geodezije se v zadnjih letih vse bolj uporabljajo elektronski razdaljemer, ki omogočajo merjenje dolžin tudi brez uporabe reflektorja. Uporabe le-teh se poslužujemo, ko želimo izmeriti dolžine do točk, ki so težko dostopne ali nedostopne. Zmožnosti takih razdaljemerov so potem odvisne od barve in vrste materiala, od katerega se žarek odbije ter od naklona ploskve vpada žarka, atmosferskih pogojev in drugih dejavnikov, ki vplivajo na meritve. (Kogoj D., 2001)

Razdaljemer, ki omogočajo merjenje dolžin tudi brez uporabe reflektorja, imajo manjši doseg, do 10-krat slabšo natančnost meritev, zahtevajo pa tudi dodatne specifične postopke kalibracije. (Kogoj D., 2001)

## 5.4 Pregled tehničnih karakteristik izbranih razdaljemerov različnih proizvajalcev

Preglednica 3: Karakteristike izbranih razdaljemerov

Tip instrumenta	Leica GS Wild DIOR 3002 S	Leica GS Wild Di 2002	SOKKIA MM 100	Topcon GPT-1001 (del el. tahimetrov)
Način merjenja	Impulzni	Fazni	Fazni	Fazni
Svetilo	Laserska dioda	IR - dioda	Laser (3A)	IR – dioda
Nosilno valovanje	0.860 $\mu\text{m}$	0.850 $\mu\text{m}$		0.820 $\mu\text{m}$
Doseg	6km / 1prizma 8km / 11prizem	2.5km / 1prizma 5km / 3prizme	3km / 1prizma 100m brez refl.	2.7km / 1prizma 3.6km / 8prizem
Čas meritve	0.8 – 3.5 s	1.5 – 3 s	4s	3.5s
Natančnost merjenja dolžin (ISO 17123 – 4)	3 – 5 mm	1 – 5 mm	3 mm 20mm brez refl.	5 – 10mm

Velika večina elektronskih razdaljemerov se danes kombinira z elektronskimi teodoliti. Samostojnih razdaljemerov v serijski proizvodnji več ni. Rezultat omenjene kombinacije so kompleksni geodetski instrumenti za hitro in učinkovito zajemanje merskih podatkov, elektronski tahimetri.

## **6 INSTRUMENTI ZA DOLOČITEV POLOŽAJA TOČK**

### **6.1 Tahimeter**

Instrument, ki z neposrednim merjenjem polarnih koordinat omogoča določitev horizontalnega položaja novih detajlnih točk v ravnini projekcije in nadmorske višine teh točk, se imenuje tahimeter.

Tahimeter je kombinacija dveh nekdanj ločenih merskih instrumentov, teodolita ter razdaljemera, katerih optična in elektronska zgradba ter tehnične lastnosti določajo konstrukcijo samega tahimetra.

#### **6.1.1 Razvoj tahimetrov**

Pojav prvih optičnih tahimetrov (kombinacija teodolita in optičnega razdaljemera) konec 19. stoletja, je predstavljal velik tehnični napredek geodetskega merjenja. Njihov razvoj je trajal dolgih 60 let, svoj vrhunec pa je dosegel s pojavom avtoredukcijskih tahimetrov z natančnostjo 1 do 2 cm na oddaljenosti 100m. (Benčič D., Solarić N., 2008)

Kasneje so optične tahimetre pričeli zamenjevati elektronski. Njihovi prednosti sta bili predvsem večja natančnost in doseg. Njihov razvoj se je pričel sredi 70-ih let preteklega stoletja. (Benčič D., Solarić N., 2008)

Razvoj elektronskih tahimetrov je bil usmerjen k odpravljanju vseh vrst instrumentalnih pogreškov, pogreškov operaterja in avtomatizacijo merskih postopkov. Velik napredek v razvoju le-teh predstavlja vgradnja servomotorjev, ki samodejno vrtijo zgornji sestav in daljnogled instrumenta in so podlaga za razvoj tehnologij, ki bodo popolnoma avtomatizirale delovanje tahimetrov. Če omenjenemu tahimetru dodamo še ustrezno programsko in strojno opremo, pridemo do najvišje razvojne stopnje tahimetrov – avtomatiziranih elektronskih tahimetrov. (Valh M., Marjetič A., Ježovnik V., Kogoj D., 2008)



## 6.1.2 Avtomatizacija elektronskih tahimetrov

Popolna avtomatizacija je potekala v naslednjih dveh korakih:

1. razvoj sistema za avtomatsko prepoznavanje tarče (APT),
2. nadgradnja sistema APT s tehnologijo avtomatskega iskanja tarče (AIT).

V okviru APT obstajata dva sistema: avtomatsko viziranje tarče (AVT) in avtomatsko sledenje tarči (AST). AVT kot osnovni sistem avtomatskih elektronskih tahimetrov ponudniki geodetskih instrumentov vgrajujejo v motorizirane elektronske tahimetre. AST je dodatni modul, ki se vgrajuje ob doplačilu. (Valh M., Marjetič A., Ježovnik V., Kogoj D., 2008)

Osnova za razvoj avtomatskih elektronskih tahimetrov je motorizacija rotacij delov tahimetra okrog glavnih osi. Za doseg tega so v tahimetre začeli vgrajevati dva servomotorja, ki vrtita zgornji del instrumenta okrog horizontalne in vertikalne osi. (Valh M., Marjetič A., Ježovnik V., Kogoj D., 2008)

Avtomatizacija elektronskih tahimetrov je zahtevala tudi drugačno konstrukcijo daljnogleda, saj so imeli stari daljnogledi zelo ozko vidno polje in bi se z njihovo uporabo sistemu APT, ki je v veliki meri odvisen od velikosti vidnega polja daljnogleda, tako znatno zmanjšalo vidno polje. Prav tako mora novi daljnogled omogočati tudi zelo natančen mehanski premik leč s pomočjo servomotorja za avtomatsko ostrenje slike, ki je potrebno za natančno avtomatsko fino viziranje nekaterih tahimetrov. (Valh M., Marjetič A., Ježovnik V., Kogoj D., 2008)

Daljnogledi modernih elektronskih tahimetrov imajo v notranjosti vgrajen poseben optični sistem, ki omogoča tako sprejem odbitega merskega žarka sistema AVT koaksialno z vizirno osjo daljnogleda in prenos slike na senzor za obdelavo prejetega merskega signala kot tudi klasično viziranje. (Valh M., Marjetič A., Ježovnik V., Kogoj D., 2008)

Omogočeno je daljinsko vodenje elektronskega tahimetra s ciljne točke, kjer se operater fizično nahaja. Omogočen mu je vpogled v opazovanja, čeprav se fizično ne nahaja ob instrumentu. Daljinsko vodenje olajša tudi zakoličevanje točk. Operater, ki premika tarče, ima namreč pri roki vse podatke, ki so bili prej vidni zgolj na instrumentu. Komunikacija med operaterjem in nosilcem tarče tako več ni potrebna. (Valh M., Marjetič A., Ježovnik V., Kogoj D., 2008)

Prvi instrument, ki je izpolnjeval vse bistvene zahteve samodejnega prepoznavanja in iskanja tarče, je bil razvit v švicarskem projektu, imenovanem Topomat. (Valh M., Marjetič A., Ježovnik V., Kogoj D., 2008)

### 6.1.2.1 Avtomatsko prepoznavanje tarče APT

Avtomatsko prepoznavanje tarče APT je prvotni sistem višje stopnje avtomatizacije, sestavljen iz dveh funkcijsko različnih sistemov avtomatizacije:

#### a) Avtomatsko viziranje tarče AVT

AVT je osnovna komponenta sistema APT in pomeni avtomatsko fino viziranje. V preteklosti sta bili uporabljeni rešitvi AVT z detekcijo maksimalne intezitete povratnega signala in AVT z izenačitvijo jakosti signala simetrično razporejenih fotodiod. Danes se za prepoznavanje tarče avtomatiziranih elektronskih tahimetrov uporablja senzorje CCD in CMOS. (Valh M., Marjetič A., Ježovnik V., Kogoj D., 2008)

CCD senzorji: instrument je izvor EMV, ki ga usmerimo do reflektorja (pasivni reflektor). Valovanje se odbije proti instrumentu, ki s pomočjo dvodimenzionalnega CDD senzorja išče maksimalno jakost svetlobe. Instrument nato usmerja daljnogled do prave smeri s premikanjem. (Valh M., Marjetič A., Ježovnik V., Kogoj D., 2008)

CMOS senzorji: CMOS senzorji so dobro svetlobno občutljivi in prav tako kot CCD senzorji sprejemajo EMV, ki se preko reflektorja vrne do instrumenta. Svetlobni žarek pade na CMOS senzor, kjer se zariše svetlobna lisa. Glede na položaj centra te lise instrument nato izračuna popravek horizontalne in vertikalne smeri. Če je le-ta izredno majhen, instrument smeri ne spreminja mehansko, ampak samo računsko upošteva popravek. (Valh M., Marjetič A., Ježovnik V., Kogoj D., 2008)

#### b) Avtomatsko sledenje tarče AST

AST je sistem, ki omogoča zvezno spremljanje premikajočega se cilja in zagotavlja dovolj natančno fino viziranje na gibljivo točko. Avtomatski elektronski tahimeter tako lahko sledi tarči, ki jo je predhodno identificiral s sistemom AVT. Tako je torej pogoj za učinkovito sledenje tarči hitro in zanesljivo delovanje sistema AVT. (Valh M., Marjetič A., Ježovnik V., Kogoj D., 2008)

AST uporabljamo za detajlno izmero, ko prehajamo iz ene na drugo točko. Paziti pa moramo, da ne izvajamo nenadnih, nepredvidljivih ali prehitrih gibov. Prav tako mora biti reflektor tarče ves čas usmerjen proti tahimetru. (Valh M., Marjetič A., Ježovnik V., Kogoj D., 2008)

### 6.1.2.2 Avtomatsko iskanje tarče AIT

Realizacija AIT, ki se naključno in nezvezno premika v okolici instrumenta, je zadnji velik korak v avtomatizaciji elektronskega tahimetra. Gre za dopolnitev sistema AST in s tem dokončnega zmanjšanja števila osebja na terenu. (Valh M., Marjetič A., Ježovnik V., Kogoj D., 2008)

Instrument je izvor EMV, ki ustvarja svetlobni žarek in skenira okolico (zgornji del instrumenta se vrti in po horizontu išče odboj). Maksimalno možno iskalno območje tarče je krogla s središčem v presečišču osi X in Y instrumenta. Ko najde odboj oziroma ciljno točko (potrebna je odbojna prizma) s pomočjo grobih zasukov navizira - v tem trenutku je ciljna točka v zornem polju daljnogleda. (Valh M., Marjetič A., Ježovnik V., Kogoj D., 2008)

Različni proizvajalci enake funkcije inštrumentov, povezane z viziranjem in sledenjem, različno poimenujejo.

**Preglednica 4: Poimenovanje sistemov višjih stopenj avtomatizacije različnih proizvajalcev**

<b>Sistem</b>	<b>LEICA</b>	<b>TRIMBLE</b>	<b>TOPCON</b>
<b>AVT</b>	ATR	AUTOLOCK / FINELOCK	AUTOLOCK
<b>AST</b>	LOCK	ROBOTIC	AUTOMATIC TRACKING
<b>AIT</b>	POWERSEARCH	GEOLOCK	QUICKLOCK REMOTE CONTROL RC3

Višje stopnje avtomatizacije elektronskih tahimetrov tako močno poenostavijo in optimizirajo veliko rutinskih merskih opravil.

### 6.1.3 Slikovna podpora merjenju

Danes proizvajalci elektronskih tahimetrov nudijo tudi slikovno podporo merjenju. Video tahimeter (IATS = Image Assisted Total Station) ponuja razširitev palete aplikacij modernih tahimetrov. Vanj so kot dodatek vgrajeni horizontalni in vertikalni pogoni, merilnik razdalje z možnostjo merjenja brez reflektorja in digitalna kamera. Nanj je, v glavnem za krmiljenje tahimetra, priključen tudi računalnik. (Joeckel, R., Stober, M., Huep, W., 2008)

Primarno je razvoj video tahimetra namenjen pripravi dokumentacije in zakoličevanju fasad. (Joeckel, R., Stober, M., Huep, W., 2008)

Uporaba video načina uporabnikom omogoča:

- neposredno, slikovno dokumentacijo izmerjenih točk (instrument lahko samodejno fotografira in shrani sliko z vsako meritvijo),
- uporabo slike kot foto-realistične teksture za potrebe vizualizacije in ustvarjanje ortofota,
- pogled skozi daljnogled preko video načina tudi iz oddaljenega kontrolerja pri prizmi,
- možnost viziranja s klikom na ekran in označitvijo zelene točke (instrument se sam obrne na njo),
- ažurno odkrivanje napak.

(Joeckel, R., Stober, M., Huep, W., 2008)

Uporabnik lahko torej iz kontrolerja vidi vse, kar želi in tako ni treba, da je ves čas fizično prisoten ob instrumentu. Delo je enostavnejše in hitreje opravljeno.

Primer slikovne podpore merjenju elektronskega tahimetra sta **Leica Viva TS15** in **Trimble VX Spatial Station**, trenutno najhitrejša in najbolj izpopolnjena samodejna tahimetra s slikovno podporo na trgu. Primer slikovne podpore merjenju proizvajalca Topcon je instrument **Topcon GPT-7000i**.

**Leica Viva TS15** je sodobni elektronski tahimeter, ki so ga nadgradili s kakovostno kamero. Temelji na združevanju senzorjev za merjenje kotov, merjenje razdalj, patentiranega samodejnega iskanja reflektorjev in motornih pogonov. Omogoča brezžično povezavo s kontrolerjem. Vgrajen ima barvni, na dotik občutljiv zaslon VGA in QWERTY tipkovnico. Vgrajen ima tudi fotoaparata ločljivosti 2 megapiksela. (Geoservis, 2014)

Prednosti tahimetra s slikovno podporo **Leica Viva TS15**:

- viziranje reflektorja s pomočjo vgrajene digitalne kamere (brez gledanja skozi daljnogled in fokusiranja),
- samodejno odpravljanje paralakse, takoj po izmeri razdalje,
- popoln nadzor nad tahimetrom pri daljinskem upravljanju,
- možnost dodajanja skice neposredno na zajeto fotografijo,
- elektronsko vodenje skice,
- prikaz izmerjenih objektov na "živi" sliki,
- zajem panoramskih fotografij, ki jih je kasneje možno opremiti tudi s skico.

(Geoservis, 2014)

Prva komercialna video totalna postaja proizvajalca Trimble, **Trimble VX Spatial Station**, se je na tržišču pojavila spomladi leta 2007. S sledečimi funkcijami omenjenega instrumenta lahko dosežemo izjemno visok nivo produktivnosti:

- Trimble VISION™ (video način),
- Trimble DR Plus (Direct Reflex – brez prizme; omogoča meritve brez prizme na skoraj vse vrste površin),
- Trimble FineLock™ (za določanje manjšega območja iskanja prizme),
- Trimble SurePoint™ (omogoča popravljanje viziranja in zagotavlja točnost meritev),
- Trimble MagDrive™ (omogoča servo premike instrumenta z elektromagnetnimi motorji),
- Trimble AutoLock™ (omogoča avtomatično iskanje in sledenje prizmi),
- Trimble MultiTrack™ (možnost uporabe aktivnih in pasivnih tarč),
- Trimble Spatial Station™ (omogoča 3D skeniranje),
- Trimble IS Rover (kombinacija GNSS in tahimetra),
- GPS Search (omogoča, da instrument najde prizmo kjerkoli).

(Vidic A., 2010)

Temeljna komponenta Trimble VISION tehnologije je umerjena digitalna Trimble VISION kamera.

Tehnologija Trimble VISION™ uporabniku omogoča popoln nadzor nad instrumentom. Iz kontrolorja lahko vidimo vse, kar želimo, ne da bi se morali vrniti do instrumenta. Tudi viziramo lahko brez gledanja skozi daljnogled. Na ekranu lahko vidimo posnete točke in tako sproti preverjamo, če smo izmerili vse. Izmerjene točke lahko tudi fotografiramo in na terenu direktno preverimo vse podatke na ekranu, vključno s točkami, linijami in višinami. Tudi pri kasnejšem, pisarniškem delu, nimamo težav, saj s pomočjo fotografij takoj vemo, kaj izmerjena točka predstavlja. Ne le, da je celotno delo enostavnejše in hitreje opravljeno, s fotografijami je tudi izboljšana komunikacija med sodelavci.

(Vidic A., 2010)

Video totalna postaja proizvajalca Topcon, **Topcon GPT-7000i**, omogoča, da na terenu zajamemo realnost. Z vgrajeno digitalno kamero lahko na delovišču posnamemo fotografije, ki so nato vključene med podatke ali uporabljene za prikaz posnetih ali zakoličenih točk. Z dodano programsko opremo lahko združimo fotografije večih delovišč in ustvarimo oblake točk ter 3D modele. (Topcon, 2006)

Prednosti TOPCON GPT-7000i:

- vgrajena CCD kamera,
- operacijski sistem Windows CE.NET 4.2,
- QVGA LCD TFT barvni zaslon,
- doseg do 250 m brez uporabe reflektorja,
- doseg do 3000 m s klasično prizmo.

(Topcon, 2006)

### 6.1.4 Pregled tehničnih karakteristik izbranih elektronskih tahimetrov različnih proizvajalcev

Preglednica 5: Karakteristike izbranih elektronskih tahimetrov

Tip instrumenta		Leica Viva TS15	Trimble VX Spatial Station	Topcon GPT7000i
Natančnost Hz in V kotov (ISO- THEO-HZ(V))		1"	1"	1"
Hitrost rotiranja		45°/s	86°/s	
Vidno polje daljnogleda		1°30'	1°30'	1°30'
Poimenovanje sistema AVT		ATR (Automatic Target Recognition)	Autolock/Finelock	Auto Lock
Doseg sistema AVT		1.5 m – 1000 m (standardna tarča GPR1) 1.5 m – 800 m (360°reflektor GRZ4)	0.2 m – 500 m / 700 m (Passive prisms) 0.2 m – 800 m (Trimble Multi Track Target)	1,3 m – 1000 m (mini prizma) 1,3 m – 3000 m (klasična prizma)
Natančnost viziranja sistema AVT (ISO 17123-3)		1 mm 1"	1 mm; 2 ppm 1"	2 mm; 2 ppm 1"
Časovni interval viziranja s sistemom AVT		3 – 4 s	2 s – 10 s	1,2 s
Poimenovanje sistema AST		Lock	Robotic	Automatic Tracking
Doseg sistema AST		1,5 m - 1000 m (standardna tarča GPR1) 1,5 m - 800 m (360°reflektor GRZ4)	0.2 m – 500 m / 700 m (Passive prisms) 0.2 – 800 m (Trimble MultiTrack Target)	
Hitrost sledenja sistema AST		5 m/s pri 20 m 25 m/s pri 100 m		
Poimenovanje sistema AIT		Power Search	Geolock	Quick Lock Remote / Control RC3
Čas iskanja tarče sistema AIT		5 - 10 s	2 – 10 s	
Natančnost merjenja dolžin ( $\sigma_{\text{ISO-EDM}}$ )	Z reflektorjem	1 mm; 1,5ppm	- standardno 2 mm; 2 ppm  -sledenje 4 mm; 2 ppm	3 mm; 2 ppm (do 25 m)  2 mm; 2 ppm (nad 25 m)
	Brez reflektorja	2 mm; 2 ppm	- standardno 2 mm; 2 ppm	5 mm

			-sledenje 4 mm; 2 ppm	
Čas merjenja dolžin	Z reflektorjem	0,8 s	- standardno 1,2 s - sledenje 0,4 s	- standardno 1.2 s – 3 s - sledenje 0,3 s
	Brez reflektorja	3 s	- standardno 1 – 5 s - sledenje 0,4 s	
Kamera	Število pikslov	2560 x 1920	2048 x 1536	640 x 480
	Senzor	CMOS	CCD	CCD
	Zoom	1x, 2x, 4x	1x, 2x, 4x, 8x	0.25, 0.5, 1.2
	Min. žariščna razdalja	2 m	3m	2m
	Zorni kot	15,5° x 11,7°	16,5° x 12,3°	1°ozkokotni, 30° širokotoni pogled
Zajem posnetka	Ime	Leica Viva Imaging	Spatial Imaging	Imaging
	Hitrost	20 slik na sekundo	115°/s	1 – 10 slik na sekundo



Slika 8 (od leve proti desni): Leica Viva TS15 (Leica Geosystems, 2014), Trimble VX Spatial Station (Trimble, 2014), Topcon GPT-7000i (Topcon positioning, 2006)



## **7 ZDRUŽEVANJE TPS IN GPS SISTEMA**

Zmogljivost in uporaba tahimetrov sta močno napredovali s pojavom tahimetrov iz serij TPS1000 in TPS2000 proizvajalca Leica Geosystems ter z naj sodobnejšo serijo System 1200, ki združuje TPS in GPS v enoten uporabniški sistem, enoten zapis podatkov v podatkovni bazi in enotno aplikativno programsko opremo. (Kogoj D., Bilban G., Bogatin S., 2004).

TPS in GPS sta v enoten uporabniški sistem združila tudi proizvajalca Trimble in Topcon. Pri Trimblu so sistem poimenovali Trimble Integrated Surveying, pri Topconu pa Hybrid Positioning System.

### **7.1 GPS (Global Positioning System – Sistem globalnega pozicioniranja)**

Zaenkrat je GPS edini sistem za navigacijo, ki popolnoma deluje. Sestavlja ga najmanj 24 satelitov v 6 ravninah tirnic s  $55^\circ$  inklinacijo proti ekvatorju, ki Zemljo obkrožijo v 12 urah. Sistem oddaja signal na GPS sprejemnike, katerim lahko določi lokacijo, hitrost, nadmorsko višino in čas. (Viharnik paraglides, 2014)

Osnovni princip delovanja sistema GPS je v merjenju razdalj do sprejemnika. Potrebno je torej zelo natančno merjenje časa, ki ga signal potrebuje za potovanje od satelita do sprejemnika. Vsak satelit ima v ta namen vgrajene 4 atomske ure, ki so sinhronizirane in kontrolirane na Zemlji. (Viharnik paraglides, 2014)

Sistem GPS, v lasti Združenih držav Amerike, je razvit iz radio-navigacijskega sistema, razvitega okoli leta 1940. Radio-navigacijski sistem deluje s pomočjo dveh oddajnikov in sprejemnikov. Ko sprejemnik izmeri razdalje do oddajnikov, s tem ugotovi svojo pozicijo. Primer takega sistema sta LORAN in Decca Navigator. (Viharnik paraglides, 2014)

Leta 1960 so bili opravljeni prvi uspešni testi satelitske navigacije. Uporabljenih je bilo 5 satelitov. Od tega leta naprej se je GPS hitro razvijal. (Eržen M., 2008)

Leta 1983 je sistem GPS postal dostopen tudi za civilno uporabo (do tedaj se je sistem GPS uporabljalo za vojaške namene). Ta signal je bil sicer moten s sistemom SA (selective availability) do 1. maja 2000, ko je bil civilnim uporabnikom omogočen dostop do popolnega signala L1. Natančnost je iz 100 m prešla na natančnost 30 m. (Eržen M., 2008)

Od septembra 2007 je aktivnih 31 satelitov, ki izboljšujejo natančnost izračuna koordinat, hkrati pa predstavljajo rezervo, v primeru, da pride do okvare satelita. (Eržen M., 2008)

Poleg ameriškega satelitskega sistema GPS je v vesolju tudi ruski Glonass, vendar GPS še vedno močno prevladuje. V vesolje pa prihaja tudi nov sistem z imenom GALILEO. Razvija ga EU in bo neodvisni civilni sistem za satelitsko navigacijo, ki naj bi resno ogrozil GPS. Obstajata še dva sistema, ki sta v razvoju, in sicer kitajski COMPAS in indijski IRNSS.

V geodetski praksi se je z začetkom uporabe GPS tehnologije začelo novo obdobje, ki temeljito spreminja današnje postopke geodetske izmere. Za geodetske potrebe, pridobitev podatkov o horizontalnem položaju in nadmorski višini ter točnem času, potrebujemo signale 4 satelitov

### 7.1.1 Leica SmartStation

SmartStation (slov. Razumna postaja), proizvod podjetja Leica Geosystems, je zmogljiv elektronski tahimeter, ki je fizično združljiv z GPS sprejemnikom. Z omenjenim instrumentom lahko kombiniramo prednosti klasične terestrične izmere in RTK GPS geodetske izmere.

Leica je prvi sistem, ki obsega elektronske tahimetre TPS1200 in instrumente GNSS GPS 1200, predstavila leta 2004. Leto zatem je bil izdelan instrument SmartStation. (Kogoj D., Marjetič A., Mulahusić A., Tuno N., 2010)



Slika 9: Leica SmartStation (LeicaGeosystems, 2014)

Koncept tega instrumenta je poznan tudi pod nazivom X-Funkcija. Osnovna komponenta je elektronski tahimeter serije TPS1200, na katerem je adapter za pritrditev dvofrekvenčnega sprejemnika GNSS, imenovanega SmartAntenna ATX1230+. Od referenčne postaje je Leica SmartStation lahko oddaljen 50 km. Natančnost določitve horizontalnega položaja je 10 mm +/- 1 ppm, natančnost določitve vertikalnega položaja pa 20 mm +/- 1 ppm. Instrument je kar 99,99-odstotno zanesljiv. (Kogoj D., Marjetič A., Mulahusić A., Tuno N., 2010)

Od klasičnih tahimetrov se SmartStation razlikuje po tem, da lahko določi položaj stojišča iz opazovanj GNSS in tako ni potrebe po vzpostavljanju mreže geodetskih točk z ustaljenimi metodami na območju izmere. Uporaba SmartStation-a nam torej omogoča hitrejšo izmero in posledično tudi zmanjšanje stroškov izmere. (Kogoj D., Marjetič A., Mulahusić A., Tuno N., 2010)

### 7.1.1.1 Uporaba SmartStationa

SmartStation omogoča določitev koordinat stojišča preko RTK modela, kar pomeni določanje položaja v najkrajšem možnem času in z veliko natančnostjo. Detajlno snemanje se nato lahko nadaljuje po ustaljeni polarni metodi s pomočjo tahimetra. Da bi bilo to doseženo, moreta biti izpolnjena dva pogoja: za precizno določitev položaja moramo imeti referenčno postajo, ki nam pošilja korekcijske parametre in neoviran prehod s sistema WGS84 v lokalni sistem. (Karamustafić A. 2007)

SmartStation ima naslednji dve možnosti postavljanja:

- postavljanje na lokalno nepoznano točko in viziranje na poznano točko;
- postavljanje na lokalno nepoznano točko in viziranje na drugo nepoznano točko.

Od vklopa instrumenta do začetka detajlnega snemanja sta potrebni zgolj 2 minuti. V tem času instrument pridobi podatke o satelitih, operater pa horizontira instrument in tvori novi projekt. (Karamustafić A., 2007)

### 7.1.2 Leica SmartPole

Konec leta 2006 je bil z izboljšavo sistema 1200 predstavljen SmartPole. Sestavljajo ga:

- teleskopsko togo grezilo,
- 3600 reflektor,
- antena GNSS (SmartAntenna) in
- kontroler RX 1205T.

Novost, ki jo je prinesel SmartPole je, da omogoča daljinsko upravljanje z merjene točke. V vsakem trenutku merjenja so mogoča TPS in GPS merjenja, kar nam omogoča izbiro metode merjenja v zadanih nalogah. Če so torej GPS merjenja neizvedljiva zaradi problemov s signalom, lahko koristimo TPS metode merjenja. V primeru ovire med instrumentom in reflektorjem pa koristimo GPS metodo merjenja. (Leica Geosystems, 2008)

### 7.1.3 Trimble Integrated Surveying

Sistem Trimble Integrated Surveying je bil prvič predstavljen leta 1998 s kontrolerjem imenovanim GeodatWin, ki je prvi omogočal povezavo med konvencionalnimi merskimi instrumenti in GPS sprejemniki. Podatki obeh instrumentov so bili shranjeni v isti delovni datoteki, operater pa je lahko sam izbral med TPS in GPS določitvijo položaja točke. (Trimble, 2005)

Leta 1999 je Trimble sistem Intergrated Surveying nadgradil z ročnim kontrolerjem TSC1™, ki je omogočil povezavo med mnogimi Trimble GPS sprejemniki in konvencionalnimi totalnimi postajami. (Trimble, 2005)

Od takrat je Trimble še nadgradil Integrated Surveying sistem, ki uporabniku omogoča enostavno povezavo in kontrolo med geodetskimi instrumenti, in sicer brez izmenjave instrumentov na terenu ali programskih aplikacij. (Trimble, 2005)

Prednosti sistema Trimble Intergrated Surveying:

- operater lahko učinkovito vzpostavi nadzor nad procesom merjenja,
- fleksibilnost operaterja pri izbiri sistema za merjenje glede na okoljske omejitve (npr. na velikih, odprtih območjih za pridobitev podatkov izbere sistem GPS, medtem ko na poraščenih ali gosto pozidanih območjih opravi klasično terestrično izmero),
- kombinacija uporabe TPS in GPS sistema brez potrebe po zamenjavi opreme prihrani veliko časa in minimalizira napake operaterja.

(Trimble, 2005)

Najnovejši sistem predstavlja I.S. Rover, ki je lahek, enostavno prenosljiv in omogoča najnatančnejše geodetske meritve. Kombinacija GNSS in tahimetra omogoča, da na terenu ne potrebujemo več nobene znane točke. Tako lahko instrument oziroma stojišče postavimo kamor želimo, potrebuje mo le prizmo na Trimble R8 GNSS roverju, kontrolno enoto Trimble in totalno postajo Trimble S6. (Trimble, 2005)

### 7.1.4 Hybrid Positioning Technology

Proizvajalec Topcon sistem združevanja TPS in GPS tehnologije poimenuje Hybrid Positioning Technology, s katerim povečuje produktivnost dela na terenu.

Tehnologija Hybrid Positioning™ omogoča hkratno uporabo GNSS in klasičnega terestričnega sistema pozicioniranja. Komponente tehnologije Hybrid Positioning so sledeče:

- programska oprema MAGNET™,
- Hybrid Positioning™ modul,
- Topcon Robotic Total Station (DS-AC+, QS serija, PS serija, IS),
- Topcon GNSS sprejemnik (HiPer SR, HiPer V, HiPer II, GRS-1),
- podprti kontroler na terenu (FC-250, FC-2600, FC-336, Tesla).

(Topcon positioning, 2013)

Hybrid Positioning™ modul je dodan programski opremi MAGNET™ in tako kompatibilen z vsemi robotskimi instrumenti proizvajalca Topcon. Omogoča samodejno rotiranje instrumenta proti prizmi in sledenje prizmi ter večje število posnetkov (Hybrid Lock), pridobitev RTK koordinat za kontrolo in pridobitev geodetskih koordinat, nastavitev delovišča (Hybrid Resection), popolni nadzor operaterja nad instrumentom, hitro menjavo med GPS in konvencionalnim merjenjem (Hybrid Switch), avtomatsko pridobitev geodetskih koordinat ter hkratno lokalizacijo večih točk (Auto-Localization).

(Topcon positioning, 2013)

Generalno gledano sistem odpravi potrebo po večkratnem prenosu instrumenta in ponovnih nastavitvah.

## 8 LASERSKI SKENERJI

Ena izmed novejših tehnik zajemanja podatkov o objektih v prostoru in samem prostoru je terestrično lasersko skeniranje. Prednost tovrstnega zajemanja podatkov je manjša poraba časa (v nekaj minutah pridobimo milijone točk, ki skenirani objekt predstavljajo v celoti) in nižja cena. Dometitve skorajda niso potrebne, skenirani so namreč vsi objekti v vidnem polju 3D laserskega skenerja, možna je integracija z drugimi tehnologijami, varnost med zajemom podatkov je večja, zajem je brez-kontakten, oblake točk pa lahko uporabimo večkrat in za različne namene. Zraven vsega naštetega pa je prednost tudi v varnejšem zajemu na nedostopnih in nevarnih območjih. (Kastelic, M., 2010)

Laserski skener lahko opišemo tudi kot motoriziran elektronski tahimeter, ki avtomatično meri točke v njegovem vertikalnem in horizontalnem polju. Laserski žarek, ki ga oddajnik instrumenta odda, zadene ob prvo oviro na poti in se razprši. Nazaj odbita laserska energija v smeri oddajnika se zbere in izmeri. (Kastelic, M., 2010)

Razdalja se izračuna med instrumentom in točko odboja laserskega žarka. Z dolžino sta z vsako izmerjeno točko registrirana tudi vertikalni in horizontalni kot. Tako izračunamo prostorske 3D koordinate vsake točke na površini skeniranega objekta glede na pozicijo skenerja. (Kastelic, M., 2010)

Točke merimo v lokalnem koordinatnem sistemu. Če laserskemu skenerju dodamo še GPS, lahko instrument prostorsko lociramo v geodetski koordinatni sistem (georeferenciranje). (Kastelic, M., 2010)

### 8.1 Terestrični laserski skenerji

Terestrični laserski skener je naprava, ki na osnovi opravljenih meritev omogoča pridobitev oziroma izračun prostorskih koordinat točk skeniranega objekta.

Princip delovanja: osnovni pogoj za izvedbo terestričnega laserskega skeniranja je, da skenirana površina odbija lasersko svetlobo. S terestričnimi laserskimi skenerji skeniramo površino objekta. Skeniranje je izvedeno z enim ali dvema gibljivima zrcaloma, ki omogočata zelo majhne spremembe v odklonskem kotu laserskega žarka, projiciranega na površino objekta. Za izračun prostorskih koordinat točk potrebujemo podatek o odklonskem kotu zrcal in poševni razdalji med terestričnim laserskim skenerjem in objektom. (Mozetič, B., 2004)

Terestrični laserski skenerji se med seboj razlikujejo v naslednjih elementih:

- načinu izvedbe,
- natančnosti,
- hitrosti skeniranja,
- ločljivosti in velikosti pike,
- dosegu,
- velikosti vidnega polja,
- tarčah,
- transportu,
- napajanju (prenosne akumulatorske baterije ali priklop na električno omrežje),
- programski opremi in
- ceni.

(Mozetič, B., 2004)

### 8.1.1 Delitev terestričnih laserskih skenerjev

Glede na način merjenja delimo terestrične laserske skenerje na "ranging" skenerje in triangulacijske skenerje.

"Ranging" skenerji delujejo na osnovi metode časovnega intervala potovanja elektromagnetnega valovanja med začetno in končno točko ali na osnovi metode primerjave faze oddanega in sprejetega moduliranega signala, delovanje triangulacijskih skenerjev pa temelji na osnovi triangulacije. Z "ranging" skenerji lahko delamo na večji oddaljenosti od objekta, vendar pa je dosežena natančnost slabša. (Mozetič, B., 2004)

- **Impulzni način (TOF – Time Of Flight)**

Čas potovanja impulza (TOF – Time Of Flight) je največkrat uporabljen merski sistem laserskih skenerjev. Svetilo v instrumentu generira svetlobno valovanje v obliki svetlobnih impulzov. Ko se svetlobni impulz sprosti, se sproži tudi ura. Laserski merilnik ugotovi razdaljo do merjene površine na podlagi izmerjenega časa potovanja impulza. Le-ta se odbije od površine skeniranega objekta in ko se del svetlobe vrne v sprejemnik, se ura ustavi. Za dvakrat prepotovano merjeno pot impulz potrebuje čas  $t$ . Ob znani hitrosti svetlobe, dolžino izračunamo po enačbi

$$D = \frac{c}{n} \cdot \frac{t}{2}$$

kjer je:

- $D$  razdalja med laserskim skenerjem in svetlobno piko (m),
- $c$  svetlobna hitrost (m/s),
- $t$  čas potovanja impulza (s),
- $n$  lomni količnik.

(Kastelic, M., 2010)

Impulzni način je enostaven, meri lahko daljše razdalje (tudi več kilometrov). Primeren je za skeniranje velikih objektov in za redko posejane podatke na daljši razdalji. Hitrost izmerjenih točk je običajno majhna (1000 – 20000 meritev na sekundo). Zaradi velike hitrosti svetlobe je potovalni čas težko izmeriti in tako je natančnost merjene dolžine relativno nizka, reda nekaj milimetrov. Natančnost se lahko tudi zmanjša, ko laser zadene ob rob predmeta, saj je povratna informacija skenerju iz dveh različnih lokacij enega laserskega pulza. Točka je nato izračunana na podlagi povprečja in posledično locirana na napačno mesto.

- **Fazni način**

Pri faznem načinu se svetloba namesto impulzno sprošča konstantno. Delovanje temelji na moduliranem elektromagnetnem valovanju, pri katerem se združi dve ali več valovanj iste vrste z različnima frekvencama. Najpogostejši vrsti modulacije sta amplitudna in frekvenčna. Prva ima spremenljivo amplitudo, medtem ko ima druga spremenljivo frekvenco. (Kastelic, M., 2010)

Fazni način merjenja se za razliko od impulznega načina merjena uporablja zgolj pri skenerjih kratkega dosega. Metoda je torej primerna za gostejše podatke na krajši razdalji, npr. za skeniranje notranjosti in zunanosti stavb ali v strojništvu.

- **Triangulacijska metoda**

3D laserski skenerji, ki temeljijo na triangulaciji, so aktivni skenerji, ki uporabljajo lasersko svetlobo za merjenje zelenih površin. Metoda se imenuje triangulacijska, ker pika laserja, CCD kamera in laserski oddajnik tvorijo trikotnik. Triangulacijski laserski žarek sije na predmet in izkorišča CCD kamero za iskanje lokacije laserske pike. Dolžina bazne linije med CCD kamero in laserskim oddajnikom je znana. Tudi kot pri laserskem oddajniku je znan. Drugi kot zazna kamera glede na lokacijo padajoče laserske pike na vidno polje kamere. Te tri informacije definirajo obliko in velikost trikotnika. Razdalja se nato izračuna z uporabo triangulacijskih enačb. (Mozetič, B., 2004)



Leta 1978 je bil Nacionalni raziskovalni svet Kanade (The National Research Council of Canada) eden izmed prvih inštitutov za razvoj laserskih skenerjev, ki temeljijo na principu triangulacije.

Triangulacijska metoda je uporabna za zelo kratke razdalje do 2 metrov, vendar je natančnost izjemno visoka – reda deset mikrometrov. Na principu triangulacije 3D sliko ustvarijo tudi ročni laserski skenerji, pri katerih se laserska pika ali linija projicira na objekt iz ročne naprave in CCD senzor izmeri razdaljo do želene površine. (Mozetič, B., 2004)

Druga razvrstitev upošteva mehanizem skeniranja in pokritost območja. Pogosto uporabljena klasifikacija razlikuje med tremi tipi statičnih terestričnih laserskih skenerjev:

- panoramski skenerji,
- hibridni skenerji in
- kamera skenerji.

(Staiger, R., 2003)

Tretji kriterij razvrstitve je območje oziroma razdalja, znotraj katere lahko statični terestrični skener meri.

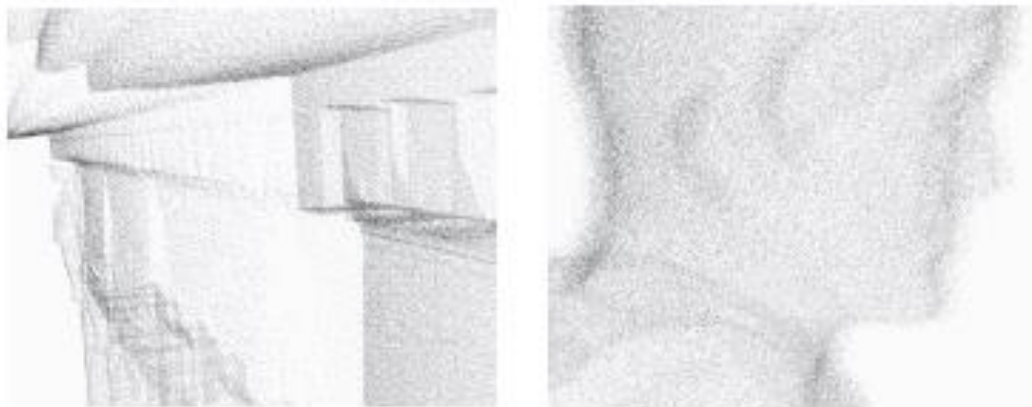
V prvo skupino takšne razvrstitve sodijo skenerji kratkega dosega, t.i. "Close-range" skenerji. Princip merjenja razdalje je optična triangulacija, natančnost merjene razdalje pa je manjša od milimetra. Skenerji kratkega dosega so uporabni v industriji in obrnjenem inženirstvu (avtomatsko spremljanje deformacij in v procesu projektiranja). (Grilc, M., 2007)

Druga skupina, ki temelji na faznem načinu merjenja, so skenerji srednjega dosega z maksimalnim dosegom 100 metrov in precej zmanjšano natančnostjo pri daljših razdaljah. (Grilc, M., 2007)

Tretja skupina skenerjev dolgega dosega lahko meri precej daljše razdalje (tudi do enega kilometra), z uporabo impulznega načina merjenja. Dobiček v razponu pa običajno spremlja zmanjšanje natančnosti (okoli enega centimetra) izmerjenih razdalj. (Grilc, M., 2007)

### **8.1.2 Rezultat terestričnega laserskega skeniranja**

Rezultat terestričnega laserskega skeniranja je prostorski oblak točk skeniranega objekta, ki ga nato uporabnik z različno programsko opremo obdeluje za svoje potrebe. Dejansko postopek zajemanja podatkov zavzame zgolj petino porabljenega časa, dolga pot do želenega končnega rezultata se nato prične s pisarniškim delom. (Mozetič, B., 2004)



**Slika 10: Prostorski oblak točk (Geoservis, 2014)**

Oblak točk je direktno uporaben le za enostavno vizualizacijo objekta. Za izdelavo 3D modelov in 2D načrtov je po končanem delu potrebna še zahtevna in dolgotrajna obdelava točk. Vsaka točka v oblaku točk ima informacije:

- o prostorskih koordinatah (X, Y, Z),
- o inteziteti odboja in
- o treh barvnih komponentah (RGB), če skener to omogoča.

(Kastelic, M., 2010)

Običajno vseh podatkov o celotnem objektu ni mogoče pridobiti z enega stojišča. Vsako stojišče ima svoj lastni, skenerjev, koordinatni sistem. Kasneje oblake točk z več stojišč združimo v skupni lokalni koordinatni sistem (registracija). Združen oblak točk nato premaknemo iz lokalnega koordinatnega sistema terestričnega laserskega skenerja v referenčni koordinatni sistem, kar imenujemo georeferenciranje. (Kastelic, M., 2010)

## 8.2 Pregled tehničnih karakteristik izbranih laserskih skenerjev

Preglednica 6: Pregled tehničnih karakteristik izbranih laserskih skenerjev

		Leica Scan Station P20	Trimble TX8	Topcon GLS-1500
Metoda merjenja razdalje		Impulzna	Impulzna	Impulzna
Hitrost [točk na sekundo]		1.000.000	1.000.000	30.000
Mersko območje		0,4 m – 120 m	0,6 m – 120 m	< 500 m
Točnost		3 mm / 100 m; 6 mm / 100m	2 mm / 100m	4 mm / 150 m; 7 mm / 400 m
Kotna natančnost	Hz	8"	16"	6"
	V	8"	16"	6"
Laser (IEC EN60825-1)		Class 2	Class 1	Class 1
Vidno polje		360° x 270°	360° x 317°	360" x 70"
Velikost pike laserskega žarka		2,5 mm / 1,5 m	6 mm / 10 m	6 mm / 40m



Slika 11 (od leve proti desni): Leica Scan Station P20 (Leica Geosystems, 2014), Trimble TX8 (AI-top, 2013), Topcon GLS-1500 (Topcon positioning, 2013)

Primer združitve najnovejše tehnologije iz področja tahimetrov in laserskih skenerjev proizvajalca Leica Geosystems je **Leica Nova MultiStation MS50**, ki omogoča zbiranje in prikaz podatkov skupaj z detajlnimi visoko ločljivimi skanogrami.

Hitrost zajemanja je 1000 točk na sekundo na razdalji do 300m, doseg 1000m, natančnost skeniranja pa je milimetrska. (Geoservis, 2014)

Pri Trimblu so tehnologijo iz področja tahimetrov in laserskih skenerjev združili v instrumentu **Trimble VX Spatial Station**, ki združuje tahimetrično izmero, fotografiranje in skeniranje v enotno rešitev. Vključuje napredne tehnologije tahimetra (ShurePoint, AutoLock, MagDrive), metrične fotografije in 3D skeniranje. (Trimble, 2014)

Proizvajalec Topcon je najnovejšo tehnologijo združil v instrumentu **Image Station**. Preizkušena robotska tehnologija Topcon, kombinirana z dvema digitalnima fotokamerama, omogoča barvno "real-time" sliko na LCD ekranu, ki deluje na dotik. Instrumentu je dodana tudi sposobnost skeniranja (iSCAN tehnologija – inteligentno skeniranje s hitrostjo zajemanja do 20 točk na sekundo). (Topcon positioning, 2014)

## 9 LASERSKI SLEDILNIKI

Laserski sledilniki so instrumenti za natančno merjenje prostorskih oblik s sledenjem krogelnemu reflektorju (SMR (Sphere Mounted Retro) reflektor) na zelenem objektu. Najpogosteje se uporabljajo v avtomobilski in letalski industriji. Na tržišču so se prvič pojavili v poznih 80ih letih prejšnjega stoletja in so imeli v primerjavi z današnjimi manjši domet ter niso bili tako natančni. Moderni laserski sledilniki lahko merijo objekte, ki so blizu ali daleč (približno 60 metrov), opravijo lahko do 3000 meritev v eni sekundi, natančnost je velika ( $0.001'' = 0.025\text{mm}$ ), merjenje pa zahteva samo enega operaterja. Namenjeni so predvsem uporabi v zaprtih prostorih. (Quality Digest, 2009)

Laserski sledilniki imajo senzorje največje možne natančnosti za merjenje smeri (horizontalne in vertikalne) ter razdalje. Instrument avtomatsko sledi premikajoči se tarči. (Quality Digest, 2009)

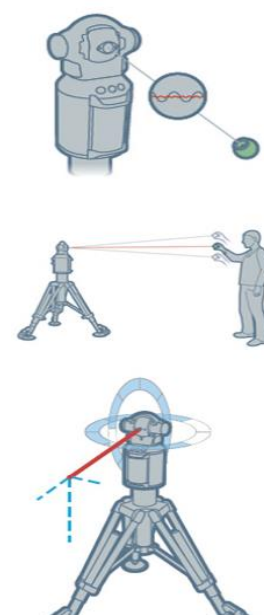
Izvor svetlobe laserskih sledilnikov je plinski laser (običajno He-Ne laser). S pomočjo zrcala, ki se odklanja okrog dveh osi – vertikalne Z osi in horizontalne Y osi, laserski sledilnik usmerja laserski žarek proti reflektorju. Pogoni so motorni, viziranje tarče pa je doseženo z dvodimenzionalnim svetlobno občutljivim CMOS senzorjem, ki je tudi ključna točka laserskega sledilnika. (Valh M., Marjetič A., Ježovnik V., Kogoj D., 2008)

Sledenje je lahko izvedeno tudi na drug način, in sicer z iskanjem največje moči merskega signala – najmanjše razlike med močjo referenčnega in merskega žarka, ki se izmeri s pomočjo PSD senzorja. Ko operater premakne odbojno tarčo na novo zeleno lokacijo, laserski sledilnik temu premiku sledi, fiksiran v središče tarče, če le na poti laserskega žarka ni nobene ovire. (Joeckel, R., Stober, M., Huep, W., 2008)

Glede na način merjenja dolžin poznamo tri vrste laserskih sledilnikov:

- IFM laserski sledilniki, pri katerih se dolžina meri na interferenčni način,
- AIFM laserski sledilniki, pri katerih interferometrično merjenje dolžin v ekstremnih pogojih zamenja tehnologija absolutnega merjenja dolžin in
- ADM laserske sledilnike, pri katerih se dolžina meri na precizni fazni ali impulzni način.

(Joeckel, R., Stober, M., Huep, W., 2008)



Slika 12: Laserski sledilnik  
(Quality Digest, 2014)

Natančnost merjenja dolžin sledilnikov AIFM je ranga velikosti nekaj mikronov, kotna natančnost pa je podana s prečnim odstopanjem glede na dolžino in sledi dolžinski natančnosti do oddaljenosti par metrov. V primerjavi s sledilniki AIFM je natančnost sledilnikov ADM nekajkrat slabša. (Joeckel, R., Stober, M., Huep, W., 2008)

Trenutno so glavni trije ponudniki laserskih sledilnikov Leica Geosystems, Faro in Automated Precision Inc.

## 9.1 IFM laserski sledilniki

Merjenje dolžin pri IFM laserskih sledilnikih temelji na interferenčnem principu, pri katerem interferometer ne meri absolutne dolžine, temveč le radialne premike reflektorja  $dr$ . Dolžino  $r$  nato izračunamo iz kosinusnega izreka

$$r = \sqrt{\frac{dr^2}{4} + \frac{b^2 - dr^2}{2 \cdot (1 - \cos\beta)}} - \frac{dr}{2},$$

pri čemer je  $dr$  radialni premik reflektorja,  $b$  je referenčna – znana dolžina in  $\beta$  je prostorski kot, ki ga dobimo, če reflektor s točke A premaknemo v točko B, pri čemer sistem izmeri radialni premik  $dr$  ter iz dveh zenitnih razdalj  $z_A$  in  $z_B$  ter dveh horizontalni smeri  $\alpha_A$  in  $\alpha_B$  določi prostorski kot  $\beta$ . (Joeckel, R., Stober, M., Huep, W., 2008)

Ob poznani dolžini  $r$  lahko izmerimo oddaljenost do vsake naslednje točke. Če je žarek med merjenjem prekinjen, izgubimo referenčno dolžino in merjenje se prekine. (Joeckel, R., Stober, M., Huep, W., 2008)

## 9.2 AIFM laserski sledilniki

Pri AIFM laserskih sledilnih gre za nadgradnjo IFM laserskih sledilnikov, saj ima instrument, poleg interferometra, razdaljemer, ki meri absolutne vrednosti dolžin (Absolute Distance Meter). Razdaljemer deluje na faznem ali impulznem principu merjenja. V primerjavi s klasičnimi razdaljemerji je njegov doseg zelo omejen, običajno do 50 metrov (izjemoma do 120 metrov). (Joeckel, R., Stober, M., Huep, W., 2008)

Osnovno merjenje AIFM laserskih sledilnikov je interferometrično. Dolžina se na ADM način izmeri samo ob prekinitvi signala, zaradi česar vračanje prizme na referenčno točko ni potrebno. (Joeckel, R., Stober, M., Huep, W., 2008)

### 9.3 ADM laserski sledilniki

ADM (Absolute Distance Measurement) laserski sledilniki so po načinu merjenja in konstrukciji podobni sodobnim elektronskim tahimetrom.

ADM se je v laserskih sledilnikih prvič pojavil leta 1990. Prednost merilnika je enostavno merjenje razdalje: proti cilju usmerimo laserski žarek in preprosto sprožimo meritev. Sistem ADM meri razdaljo do cilja samodejno, tudi če je pot žarka med merjenjem začasno pretrgana. V sledilniku s sistemom ADM se infrardeča svetloba iz laserja odbije od odbojne tarče in vrne v sledilnik, kjer se pretvori v električni signal. Elektronsko vezje nato analizira sprejeti signal in določi čas potovanja žarka, ki ga pomnoži s svetlobno hitrostjo v zraku ter tako določi razdaljo med sledilnikom in odbojno tarčo oziroma zelenim objektom. (Quality Digest, 2009)

ADM sledilnik **Leica AT402** je eden izmed najbolj prenosnih laserskih sledilnikov. Zasnovan je po principu "vse v enem". V robustnem ohišju se skriva vsa potrebna oprema za najbolj natančne meritve, video kamera, brezžični vmesniki za daljinsko upravljanje, dvoosni kompenzator ter merilnik okoljskih količin. Majhne dimenzije sledilnika omogočajo njegovo prenosnost. Predhodnik, Leica AT401, je postal prvi laserski sledilnik s certifikatom za uporabo na prostem ter v težkih industrijskih okoljih. (Geoservis, 2014)



Slika 13: Leica AT402  
(LeicaGeosystems, 2014)

Prednosti sledilnika Leica AT402:

- njegova uporaba je možna v vseh vremenskih in težkih industrijskih pogojih,
- nizka poraba energije,
- daljinsko upravljanje preko WiFi povezave,
- sistem APT (avtomatsko prepoznavanje tarče),
- samodejno prepoznavanje reflektorja in "zaklep" merskega žarka nanj, tudi ko se premika (tehnologija PowerLock),
- sistem ADM z ločljivostjo 0,1 mikrona (z največjim možnim pogreškom 10 mikronov na 160 m),
- vgrajena pregledna kamera za nadzor,
- avtomatsko branje in nadgrajevanje okoljskih parametrov,

- V skladu s standardi ISO 17123-3 povečana natančnost absolutnih kotov (garantirana 0,5" natančnost z ločljivostjo 0,07").

(Geoservis, 2014)

## **10 ZNAČILNOSTI SODOBNE GEODETSKE MERSKE TEHNOLOGIJE**

### **10.1 Filozofija geodetskega merjenja danes**

Danes pri "obvladovanju postopka merjenja" ne gre zgolj za pridobitev vrednosti meritev. Na voljo imamo številne postopke in metode merjenja, za kar so zaslužni proizvajalci instrumentov, ki so v zadnjih 20 letih močno izboljšali njihovo funkcionalnost. Na trgu se uvaja možnost avtomatskega zajema ali sledenja cilju ter funkcija skeniranja.

Prvotnih merskih vrednosti (kot jih poznamo npr. pri optičnem odčitavanju razdelbe kroga) ni več. Rezultati meritev so posledica večkratnega merjenja in so predhodno korigirani s parametri. Večkratne meritve služijo za vrednotenje kvalitete meritev ter za izboljšanje natančnosti na osnovi povečevanja števila meritev in računanja srednjih vrednosti. (Staiger, R., 2009)

Poleg postopkov merjenja, ki so usmerjeni v točko, lahko geodetski inženir danes izbira tudi med postopki merjenja elementov (lasersko skeniranje). Pojav elektronskih tahimetrov in satelitskih sistemov pa je uvedel novo tehnologijo, pri kateri je eno metodo merjenja točk možno učinkovito nadomestiti z drugo. (Staiger, R., 2009)

Ravno velika možnost izbire postopkov in metod merjenja pa je vodila v potrebo po natančnem načrtovanju in sprejemanju ključnih odločitev pred dejanskim začetkom merjenja, kar predstavlja veliko razliko med preteklostjo in sedanjostjo. (Staiger, R., 2009)

Ko je faza načrtovanja merjenja zaključena, se terensko delo prične s pregledom celotne merske opreme. Če le-ta deluje pravilno in je kakovost rezultatov znotraj pričakovanega oziroma zelenega območja, se lahko merjenje prične. V splošnem so vsi podatki zabeleženi na digitalnem mediju. Izvede se prva kontrola napak, ki jih tako lahko na terenu že odpravimo. Drugi pomemben del analize podatkov je določitev dosežene natančnosti. Dosegljivo teoretično natančnost omejujeta okolje, v katerem merimo in merska oprema. Ko so vse napake odkrite in odpravljene ter je določena natančnost vseh podatkov, se prava obdelava podatkov začne. (Staiger, R., 2009)



## 10.2 Spremembe v operativnih zahtevah geodeta

V preteklosti je bila vloga geodeta v procesu merjenja precej jasna. Na voljo je bilo zgolj nekaj merskih metod in vsaki je pripadal specifičen merski instrument. V nasprotju s trenutnim stanjem ni bilo izbire med različnimi tipi instrumentov za posamezno nalogo. Izvedba vseh meritev je bila na splošno vodena in nadzorovana s predpisi, ki so onemogočali samostojno odločanje o postopku merjenja. Sledenje ustaljenim pravilom in smernicam je zagotovilo dober nadzor nad pridobljenimi podatki. Določale so se samo točke, bodisi njihov horizontalni položaj bodisi višina. Končni rezultat je bila karta ali numerična analiza. (Staiger, R., 2009)



Slika 14: Proces merjenja v preteklosti (Staiger, R., 2009)

Danes lahko geodetski projekt v groben razdelimo v tri faze:

- faza načrtovanja,
- faza pridobivanja podatkov in
- faza obdelave podatkov.

(Staiger, R., 2009)

Včasih so bile faze izvedene ena za drugo in v približno enakem obsegu. Danes je faza načrtovanja, glede na fazo izvedbe, veliko bolj razširjena, prvi del obdelave podatkov pa poteka že vzporedno s samo fazo pridobivanja podatkov. Zaradi veliko učinkovitejše opreme, ki se uporablja v vseh fazah geodetskega projekta, je lahko le-ta zaključen veliko hitreje kot v preteklosti. Hkrati se rezultati lahko uporabijo za različne namene, kot so prostorsko načrtovanje, kartiranje, določanje volumnov in podobno. (Staiger, R., 2009)



Slika 15: Proces merjenja v sedanosti (Staiger, R., 2009)

Proces merjenja je tako v preteklosti pomenil "obvladanje instrumenta", medtem ko mu moramo danes pripisati definicijo "obvladanje celotnega procesa". Obvladanje instrumenta je postalo enostavnejše, vendar pa so zahtevana znanja inženirja geodezije postala širša in zapletena. Naloga inženirja izvajalca je, da izbere optimalen postopek merjenja in analize v kontekstu naloge, pri tem pa upošteva vse pogoje. Za tak strokoven izbor so potrebna poglobljena znanja, ki spadajo k današnji umetnosti merjenja (znanje matematike, fizike, izravnalnega računa, znanje o različnih postopkih merjenja, o metodah preizkusov sodobne merske opreme in o različnih postopkih izvedenjenj). (Staiger, R. 2009)

Kljub velikim razlikam v samem procesu merjenja pa posamezna obdobja združijo brezčasna načela merske tehnike. Načela so brezčasna, ker ne navajajo posebnosti, ki bi se nanašale na določeno stopnjo tehničnega razvoja in si jih mora uporabnik vedno prilagoditi sam. Prilagoditev je odvisna od zastavljene naloge in razpoložljive opreme za izvajanje meritev in analiz. Načela, ki se neposredno nanašajo na strokovno merjenje in analizo, so sledeča:

1. Najprej opazuj celoto.
2. Imej dovolj znanja o orodju.
3. Upoštevaj možne napake.
4. Zabeleži definirane parametre.
5. Preveri postopek.

(Staiger, R., 2009)

Tako danes še vedno velja osnovni geodetski princip – princip iz velikega v malo, ki deluje kot kontrolni sistem. Znanje o orodju je danes bolj pomembno kot kadarkoli prej, saj ni dovolj, da prisluhnemo obljubam proizvajalcev. Bolj ko postaja naš merski sistem nejasen, bolj raste potreba po preizkusih. Negotovost in nezanesljivost, ki sta posledici številnih vzrokov, je potrebno oceniti in

analizirati z ozirom na neznane vrednosti pred izvedbo meritev in po opravljenih meritvah. Nujno je tudi preveriti naše delo s predpisanimi zunanjimi kontrolami, najbolj s kontrolami, ki so neodvisne od metode izvedbe dela. (Staiger, R., 2009)

Nekoč je bilo veliko povpraševanja po izkušenih računskih umetnikih z ostrim očesom, danes pa so te nadomestili sistemski specialisti, ki obvladajo celoten postopek. Kljub enostavnejšemu, hitrejšemu in učinkovitejšemu zajemu podatkov pa ne smemo pozabiti, da nobeno naročilo meritev ni enako drugemu, zaradi česar je treba posebno pozornost posvetiti čim bolj neodvisnemu in celovitemu nadzoru postopka ter njegovim rezultatom.

## 11 ZAKLJUČEK

Skozi diplomsko nalogo lahko vidimo, da je razvoj geodetskih instrumentov tesno povezan z razvojem tehnologije – od primitivnih, enostavnih instrumentov, do mehanskih, optičnih in nazadnje, seveda, tudi elektronskih in popolnoma avtomatiziranih. Razvoj je bil najbolj eksploziven v zadnjih dvajsetih letih. Še vedno pa le-ta ni končan, saj se na tržišču vsakodnevno pojavljajo novi instrumenti z novimi zmogljivostmi.

Velik mejnik in napredek v geodeziji predstavlja tudi pojav sistema GPS, ki temeljito spreminja postopke današnje geodetske izmere in običajno delo dveh ljudi zoži na delo enega samega.

Moderni instrumenti in tehnologije so olajšali delo geodeta in mu prihranili veliko časa ter dolgoročno zmanjšali stroške izmere. Vendar pa vse dobre lastnosti lahko tudi negativno vplivajo na stroko, saj so potrebe po le-tej vedno manjše. Vloga človeka v procesu merjenja je minimalizirana, z instrumentom lahko upravlja vsakdo, ki ima voljo in željo po učenju, saj lahko postopek hitro osvoji. To lahko vodi v monopol velikih in uspešnih podjetij, ki se zraven geodetske ukvarjajo še z drugimi dejavnostmi, imajo dobro finančno zaledje za nakup najzmogljivejše opreme, zaposlenega odgovornega geodeta in kader, ki ga strokovno izobrazijo in priučijo uporabe instrumentarija. Njihovim cenam geodetskih storitev manjši geodetski biroji ne bodo mogli konkurirati, zato bo število delovnih mest vedno manjše, trend izseljevanja izobraženega podmladka pa bo postal stalnica tudi v geodetski stroki.

## VIRI

Benčić, D., Solarić, N. 2008. Mjerni instrumenti i sustavi u geodeziji i geoinformatici. Zagreb, Školska knjiga: str. 1 – 4, 179 – 181, 565, 789 – 791.

Eržen, M. 2008. GPS. Seminarska naloga. Gorenja vas, Univerza v Ljubljani, Fakulteta za matematiko in fiziko (samozaložba M. Eržen): str. 2 – 3.

Grilc, M. 2007. Analiza karakteristik terestričnega laserskega skenerja domače izdelave. Diplomaska naloga. Ljubljana, Univerza v Ljubljani, Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo (samozaložba M. Grilc): str. 7.

Joeckel, R., Stober, M., Huep, W. 2008. Elektronische Entfernungs- und Richtungsmessung und ihre Integration in aktuelle Positionierungsverfahren. Heidelberg: str. 306 – 308 .

Karamustafić, A. 2007. Razvoj i stanje terestričkog geodetskog instrumentarija. Diplomaska naloga. Sarajevo, Univerza v Sarajevu, Fakulteta za gradbeništvo (samozaložba A. Karamustafić): str. 36 – 38, 81.

Kastelic, M. 2010. Obdelava podatkov laserskega skeniranja v programu Geomagic na primeru Mislejevega portala. Diplomaska naloga. Ljubljana, Univerza v Ljubljani, Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo (samozaložba M. Kastelic): str. 3 – 10.

Kogoj, D. 2005. Merjenje dolžin z elektronskimi razdaljemerji. Ljubljana, Univerza v Ljubljani, Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo: str. 9 – 20, 38 – 39.

Kogoj, D. 2001. Zmožnosti elektronskih razdaljemerov pri merjenju dolžin brez uporabe reflektorja. Geodetski vestnik. 45, 1 – 2: str. 27 – 29.

Kogoj, D., Bilban G., Bogatin S. 2004. Tehnične lastnosti tahimetrov Leica Geosystems. Geodetski vestnik. 48, 4: str. 509 – 510.

Kogoj, D., Marjetič, A., Mulahusić, A., Tuno, N. 2010. Pregled razvoja elektronskih tahimetrov Leica Geosystems. Geodetski vestnik. 54, 4: str. 658 – 659.

Kogoj, D., Stopar, B. 2001. Geodetska izmera. Gradivo za pripravo na strokovni izpit iz geodetske stroke. Ljubljana, Geodetski inštitut Slovenije: str. 11 – 12.

Mozetič, B. 2004. Terestrično 3D (Trirazsežno) lasersko skeniranje. Geodetski vestnik. 48,3: str. 351 – 360.

Tuno, N., Kogoj, D. 2012. Prošlost, sadašnjost i budućnost preciznih optičkih nivelira. Geodetski vestnik. 46, 43: str. 21 – 36.

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

Vidic, A. 2010. Sodobni elektronski tahimetri in terestrična izmera. Diplomaska naloga. Ljubljana, Univerza v Ljubljani, Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo (samozaložba A. Vidic): str. 40 – 43.

## **INTERNETNI VIRI**

Al Nibras. 2000. Topcon DL-101C/DL-102C.

<http://www.alnibras.com.ly/files/LEVEL/DIGITALLEVEL/DL102Brochure.pdf> (Pridobljeno 5. 2. 2014.)

Al-top. 2013. Trimble TX8.

[http://www.al-top.com/sites/default/files/Trimble%20TX8\\_eng.pdf](http://www.al-top.com/sites/default/files/Trimble%20TX8_eng.pdf) (Pridobljeno 13. 3. 2014.)

Geoinstrument. 2014. Geodetski pribor.

<http://www.geoinstrument.si/pribor/> (Pridobljeno 5. 1. 2014.)

Geoservis. 2014. Geo Fennel elektronski teodolit.

<http://www.geoservis.si/produkti/62-tahimetri-za-gradbenistvo-in-konstrukcije/147-geo-fennel-fet> (Pridobljeno 5. 1. 2014.)

Geoservis. 2014. Leica AT401.

<http://www.geoservis.si/produkti/7-laser-tracker/137-leica-absolute-tracker-at401>, (Pridobljeno 23. 1. 2014.)

Geoservis. 2014. Leica AT402.

[http://metrology.leica-geosystems.com/en/Leica-Absolute-Tracker-AT402\\_81625.htm](http://metrology.leica-geosystems.com/en/Leica-Absolute-Tracker-AT402_81625.htm), (Pridobljeno 23. 1. 2014.)

Geoservis. 2014. Leica Nova MS50.

<http://www.geoservis.si/produkti/87-leica-nova/244-leica-nova-ms50-multistation>, (Pridobljeno 22. 1. 2014.)

Geoteam. 2014. Trimble DiNi12/DiNi22.

[ftp://ftp.geoteam.dk/Vejledning/DiNi/DiNi22\\_user\\_guide.pdf](ftp://ftp.geoteam.dk/Vejledning/DiNi/DiNi22_user_guide.pdf) (Pridobljeno 4. 2. 2014.)

GLM. 2014. Sokkia SDL30.

[http://www.glm-laser.com/glm/files/sdl30m\\_en.pdf](http://www.glm-laser.com/glm/files/sdl30m_en.pdf) (Pridobljeno 6. 2. 2014.)

InfoEra. 2009. Trimble DET-2.

[http://www.infoera.lt/uploads/catalogerfiles/434/Datasheet\\_-\\_DET-2\\_Theodolite\\_-\\_English.pdf](http://www.infoera.lt/uploads/catalogerfiles/434/Datasheet_-_DET-2_Theodolite_-_English.pdf)  
(Pridobljeno 4. 2. 2014.)

Leica Geosystems. 2006. Leica DNA03/DNA10.

[http://www.leica-geosystems.com/en/Leica-DNA03-Leica-DNA10\\_5287.htm](http://www.leica-geosystems.com/en/Leica-DNA03-Leica-DNA10_5287.htm) (Pridobljeno 4. 2. 2014.)

Leica geosystems. 2014. Leica ScanStation P20.

[http://www.leica-geosystems.com/en/Leica-ScanStation-P20\\_101869.htm](http://www.leica-geosystems.com/en/Leica-ScanStation-P20_101869.htm) (Pridobljeno 13. 3. 2014.)

Leica Geosystems. 2008. Leica SmartPole.

[http://www.leica-geosystems.com/downloads123/zz/gps/general/brochures/GPS1200\\_brochure\\_en.pdf](http://www.leica-geosystems.com/downloads123/zz/gps/general/brochures/GPS1200_brochure_en.pdf), (Pridobljeno 9. 1. 2014.)

Leica Geosystems. 2002. Leica TM5100A.

[http://www.leica-geosystems.com/media/new/product\\_solution/L3\\_TDA5005.pdf](http://www.leica-geosystems.com/media/new/product_solution/L3_TDA5005.pdf) (Pridobljeno 4. 2. 2014.)

Leica Geosystems. 2014. Leica Viva TS15.

[http://www.leica-geosystems.com/en/Leica-Viva-TS15\\_86198.htm](http://www.leica-geosystems.com/en/Leica-Viva-TS15_86198.htm) (Pridobljeno 15. 3. 2014.)

Quality Digest. 2009. How Laser Trackers Work.

<http://www.qualitydigest.com/inside/twitter-ed/how-laser-trackers-work.html> (Pridobljeno 23. 1. 2014.)

Sokkia. 2007. Sokkia DT210.

[http://www.sokkia.com.sg/PRODUCTS/ELECTRONIC\\_DIGITAL\\_THEODOLITE/DT\\_Series/uploads/DT%20series.pdf](http://www.sokkia.com.sg/PRODUCTS/ELECTRONIC_DIGITAL_THEODOLITE/DT_Series/uploads/DT%20series.pdf) (Pridobljeno 4. 2. 2014.)

Staiger, R. 2009. Push the Button – or Does the "Art of Measurement" Still Exist.

[http://www.fig.net/pub/fig2009/papers/ps03/ps03\\_staiger\\_3513.pdf](http://www.fig.net/pub/fig2009/papers/ps03/ps03_staiger_3513.pdf), (Pridobljeno 4. 2. 2014.)

Staiger, R. 2003. Terrestrial Laser Scanning.

[http://www.fig.net/pub/morocco/proceedings/ts12/ts12\\_3\\_staiger.pdf](http://www.fig.net/pub/morocco/proceedings/ts12/ts12_3_staiger.pdf) (Pridobljeno 15. 3. 2014.)

Topcon positioning. 2013. Topcon DT-200 Series.

[http://www.topconpositioning.com/sites/default/files/DT-200\\_7010\\_0630\\_RevE\\_TF\\_sm.pdf](http://www.topconpositioning.com/sites/default/files/DT-200_7010_0630_RevE_TF_sm.pdf)  
(Pridobljeno 4. 2. 2014.)

Topcon positioning. 2012. Topcon GLS-1500.

[http://www.topcon-positioning.eu/UserFiles/files/2.%20Leaflets%20Imaging/Leaflet%20GLS-1500/Leaflet%20GLS-1500\\_A4%20English-EN-C-low-final.pdf](http://www.topcon-positioning.eu/UserFiles/files/2.%20Leaflets%20Imaging/Leaflet%20GLS-1500/Leaflet%20GLS-1500_A4%20English-EN-C-low-final.pdf) (Pridobljeno 13. 3. 2014.)

Topcon positioning. 2006. Topcon GPT 7000i.

[http://www.topconpositioning.com/sites/default/files/articles/TheAmericanSurveyor\\_Davis-TopconGPT7000i\\_June2006.pdf](http://www.topconpositioning.com/sites/default/files/articles/TheAmericanSurveyor_Davis-TopconGPT7000i_June2006.pdf) (Pridobljeno 15. 3. 2014.)

Topcon positioning. 2013. Topcon Hybrid Positioning Technology.

[http://www.topconpositioning.com/sites/default/files/Hybrid\\_Positioning\\_Technology\\_Broch\\_7010\\_2140\\_RevA\\_TF\\_sm.pdf](http://www.topconpositioning.com/sites/default/files/Hybrid_Positioning_Technology_Broch_7010_2140_RevA_TF_sm.pdf) (Pridobljeno 20. 3. 2014.)

Topcon positioning. 2014. Topcon Image Station.



<http://www.topconpositioning.com/products/total-stations/imaging-and-scanning/imaging-station>  
(Pridobljeno 17. 3. 2014.)

Trimble. 2005. Trimble Integrated Surveying.

[http://trl.trimble.com/docushare/dsweb/Get/Document-239290/022543-133\\_Integrated\\_Surveying\\_WP\\_0605.pdf](http://trl.trimble.com/docushare/dsweb/Get/Document-239290/022543-133_Integrated_Surveying_WP_0605.pdf) (Pridobljeno 17. 3. 2014.)

Trimble. 2012. Trimble VISON.

<http://trl.trimble.com/docushare/dsweb/Get/Document-609114/Vision%20White%20Paper.pdf>  
(Pridobljeno 25. 2. 2014.)

Trimble. 2014. Trimble VX Spatial Station.

<http://www.trimble.com/3d-laser-scanning/vx.aspx?dtID=overview&> (Pridobljeno 15. 3. 2014.)

Unsw. 2014. Tellurometer.

[http://www.gmat.unsw.edu.au/currentstudents/ug/projects/f\\_pall/html/e7.html](http://www.gmat.unsw.edu.au/currentstudents/ug/projects/f_pall/html/e7.html) (Pridobljeno 22.1.2014.)

Viharnik paraglides. 2014. GPS – Global Positioning System.

<http://www.drustvo-viharnik.si/gps.htm>, (Pridobljeno 5. 1. 2014.)