

Univerza  
v Ljubljani  
Fakulteta  
*za gradbeništvo  
in geodezijo*

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



Univerzitetni program Geodezija,  
smer Geodezija

Kandidat:

**Janez Kralj**

# **Testiranje delovanja in uporabnost videosistema tahimetra Topcon GPT-7003i.**

**Diplomska naloga št.: 816**

**Mentor:**

izr. prof. dr. Tomaž Ambrožič

**Somentor:**

doc. dr. Simona Savšek

Ljubljana, 26. 11. 2009

## **STRAN ZA POPRAVKE ERRATA**

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

## **IZJAVA O AVTORSTVU**

Podpisani **JANEZ KRALJ** izjavljam, da sem avtor diplomske naloge z naslovom:

**»TESTIRANJE DELOVANJA IN UPORABNOST VIDEOSISTEMA TAHIMETRA  
TOPCON GPT-7003i.«**

Izjavljam, da prenašam vse materialne avtorske pravice v zvezi z diplomsko nalogo na  
Univerzo v Ljubljani, Fakulteto za gradbeništvo in geodezijo za potrebe elektronskega arhiva.

Ljubljana, 19.11.2009

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

<b>UDK:</b>	<b>528.53(043.2)</b>
<b>Avtor:</b>	<b>Janez Kralj</b>
<b>Mentor:</b>	<b>izr. prof. dr. Tomaž Ambrožič</b>
<b>Somentor:</b>	<b>doc. dr. Simona Savšek</b>
<b>Naslov:</b>	<b>Testiranje delovanja in uporabnost videosistema tahimetra Topcon GPT-7003i.</b>
<b>Obseg in oprema:</b>	<b>64 str., 8 preg., 43 sl., 21 en., 3 pril.</b>
<b>Ključne besede:</b>	<b>videotahimeter, opis instrumenta, slikovni senzor, opis delovanja, preizkus viziranja, določitev roba</b>

### **Izveček**

V diplomski nalogi je predstavljen poseben primer elektronskega tahimetra – videotahimeter. Na kratko je opisan zgodovinski razvoj videotahimetrov ter primeri takšnih instrumentov. Obravnavano je delovanje instrumenta *Topcon GPT-7003i*, ki omogoča prikaz vizualne slike terena na zaslonu instrumenta. Predstavljeni so sestavni deli instrumenta, zgradba instrumenta in njegovo delovanje, značilnosti zajema stanja. V nalogi so predstavljene osnovne zakonitosti elektromagnetnega valovanja, loma svetlobe, odboja svetlobe v različnih snoveh ter delovanje in zakonitosti slikovnih senzorjev. V diplomski nalogi so opisani algoritmi, prednosti programske opreme ter značilnosti delovanja instrumenta. Na koncu je opisana izvedba praktičnega preizkusa, ki utemeljuje glavne značilnosti obravnavanega instrumenta. Preizkušeno je bilo klasično viziranje s pomočjo daljnogleda instrumenta ter viziranje samo s pomočjo zaslona instrumenta. Na koncu so predstavljeni rezultati meritev preizkusa metode merjenja določitev roba.

**BIBLIOGRAPHIC – DOCUMENTALISTIC INFORMATION**

**UDC:** 528.53(043.2)  
**Author:** Janez Kralj  
**Supervisor:** assoc. prof. dr. Tomaž Ambrožič  
**Co-supervisor:** assist. prof. dr. Simona Savšek  
**Title:** Functional testing and applicability of the videosystem of the tacheometer Topcon GPT-7003i.  
**Notes:** 64 p., 8 tab., 43 fig., 21 eq., 3 ann.  
**Key words:** videotacheometer, description of the instrument, image sensor, description of working, testing of sighting, edge extraction

**Abstract**

In the graduation thesis we present a special example of the tacheometer – the imaging tacheometer. The thesis first provides a brief description of the historical development of videotacheometers and examples of these instruments. It deals with the operation of the *Topcon GPT-7003i* instrument that enables a display of visual field image on the instrument screen. Components, structure and operation of the instrument, as well as the characteristics of capture reality are presented. The thesis also presents the basic principles of electromagnetic wave motion, refraction of light, reflection of light in different substances and operation and principles of image sensors. Furthermore, it describes the algorithms, advantages of software and characteristics of the operation of instrument. Finally, it describes the execution of a practical test, substantiating the main characteristics of the instrument in question. Classical sighting with the telescope of the instrument and sighting only with the screen of the instrument is also tested. The results of the measurements of testing the edge extraction measurement method are presented in the final part of the thesis.

## **ZAHVALA**

Zahvaljujem se mentorju izr. prof. Tomažu Ambrožiču za veliko vložene časa, strokovno pomoč in prijeten odnos pri izdelavi diplomske naloge. Zahvaljujem se tudi somentorici doc. dr. Simoni Savšek za pomoč in predloge pri pisanju diplomske naloge.

Posebno se bi rad zahvalil staršem, sestri in bratoma za podporo v času študija. Hvala tudi vsem, ki ste mi polepšali študentska leta.

**KAZALO VSEBINE**

<b>1</b>	<b>UVOD .....</b>	<b>1</b>
<b>2</b>	<b>ZGODOVINSKI PREGLED RAZVOJA VIDEOTAHIMETRA .....</b>	<b>2</b>
2.1	Instrument Kern E2-SE .....	2
2.2	Instrument Leica TM3000V .....	3
2.3	Instrument Geodimeter CD 400 SERVO .....	5
2.4	Instrument Geodimeter 520 .....	6
2.5	Razvoj instrumentov na Univerzi Bochum .....	8
2.6	Razvoj IATS po Walserju .....	9
<b>3</b>	<b>VIDEO TAHIMETER .....</b>	<b>11</b>
3.1	Zajem stanja na terenu .....	11
3.2	Tehnični podatki in sestavni deli .....	12
3.3	Povzetek patenta U.S. Patent številka 7177016 .....	14
3.4	Slikovni senzorji .....	19
3.4.1	Elektromagnetno valovanje .....	19
3.4.2	Zgradba slikovnih senzorjev .....	25
3.4.3	Zgradba atoma .....	25
3.4.4	Polprevodniki .....	26
3.4.5	Tehnologija MOSFET .....	28
3.4.6	Slikovni senzorji CCD .....	30
3.4.7	Slikovni senzorji CMOS .....	31
3.4.8	Napake CMOS slikovnih senzorjev .....	32
3.4.9	Nastanek barvne podobe .....	33
<b>4</b>	<b>STROJNA IN PROGRAMSKA OPREMA INSTRUMENTA .....</b>	<b>35</b>
4.1	Sinhronizacija grafičnih podatkov in žive slike .....	35
4.2	Strojna in programska oprema za obdelavo podob .....	35
4.3	Algoritem za prikazovanje grafičnih podatkov .....	37
4.4	Mehanizem rotacije tahimetra .....	40
4.5	Vzporedni večkratni podatkovni procesi .....	41
4.6	Izločanje roba .....	43

<b>5</b>	<b>PRAKTIČNI PREIZKUS</b> .....	<b>47</b>
5.1	Preizkus merjenja klasično – viziranje skozi okular daljnogleda ter s pomočjo zaslona instrumenta .....	47
5.1.1	Testno polje 1 – zimske vaje .....	48
5.1.2	Testno polje 2 – park .....	49
5.1.3	Testno polje 3 – streha fakultete.....	50
5.1.4	Ugotovitve .....	52
5.2	Preizkus določitve roba .....	53
5.2.1	Preizkus določitve roba na testnem polju 1 – zimske vaje .....	53
5.2.2	Preizkus določitve roba na testnem polju 2 – park.....	54
5.2.3	Preizkus določitve roba na testnem polju 3 – streha fakultete .....	56
5.2.4	Ugotovitve .....	57
<b>6</b>	<b>ZAKLJUČEK</b> .....	<b>59</b>
	<b>VIRI</b> .....	<b>61</b>
	Uporabljeni viri .....	61
	Internetni viri .....	62
	Drugi viri .....	63
	<b>PRILOGE</b>	



## KAZALO PREGLEDNIC

Preglednica 1: Tehnični podatki tahimetra Topcon Imaging Total Station GPT-7003i (Topcon Instruction Manual, 2006a).....	12
Preglednica 2: Razlike v sestavi ter delovanju senzorjev CCD in CMOS (http://www.dalsa.com, 2009). .....	32
Preglednica 3: Reducirane sredine girusov merjenih horizontalnih smeri in sredine zenitnih razdalj ter odstopanja za testno polje 1 – zimske vaje.....	48
Preglednica 4: Reducirane sredine girusov merjenih horizontalnih smeri in sredine girusov merjenih zenitnih razdalj ter odstopanja za testno polje 2 – park. ....	50
Preglednica 5: Reducirane sredine girusov merjenih horizontalnih smeri in sredine girusov merjenih zenitnih razdalj ter odstopanja za testno polje 3 – streha (oba dneva). ....	52
Preglednica 6: Rezultati meritev določitve roba programske ter s pomočjo klasičnega viziranja skozi okular daljnogleda za testno polje 1 – zimske vaje.....	54
Preglednica 7: Rezultati meritev določitve roba programske ter s pomočjo klasičnega viziranja skozi okular daljnogleda za testno polje 2 – park.....	55
Preglednica 8: Rezultati meritev določitve roba programske ter s pomočjo klasičnega viziranja skozi okular daljnogleda za testno polje 3 – streha fakultete. ....	56

## KAZALO SLIK

Slika 1: Instrument Kern E2-SE (Juretzko, 2004).....	2
Slika 2: Slika prikazuje metodo merjenja in določanja 3R koordinat točk (Juretzko, 2004). ....	3
Slika 3: Leica TM3000V (Juretzko, 2004).....	4
Slika 4: Shematski prikaz optike daljnogleda in senzorja CCD (Juretzko, 2004).....	4
Slika 5: Predelava instrumenta po Uffenkampu (Juretzko, 2004).....	5
Slika 6: Predelava instrumenta po Hovenbitzerju a) tahimeter Geodimeter 520, b) senzor CCD, c) naprava za projiciranje laserskega žarka (Juretzko, 2004).....	6
Slika 7: Shematski prikaz naprave za projiciranje laserskega žarka (Fichtmüller, 2001). ....	7
Proces zbiranja in obdelave podatkov poteka po diagramu, predstavljenem na sliki 8. ....	7
Slika 8: Diagram zbiranja in obdelave podatkov (Fichtmüller, 2001). ....	7
Slika 9: Nadgradnja različnih instrumentov na Univerzi Bochum (Scherer, 2002).....	8
Slika 10: Nadgradnja elektronskega tahimetra Leica TCRM 1101 a) shematski prerez daljnogleda b) prototip IATS po Walserju (Walser, 2004). ....	9
Slika 11: Shematski prikaz instrumenta prikazuje sestavne dele instrumenta (Ohtomo in Sakimura, 2007). ....	14
Slika 12: Prikaz optičnega sistema instrumenta (Ohtomo in Sakimura, 2007). ....	15
Slika 13: Prikaz diagrama elektronskih delov instrumenta (Ohtomo in Sakimura, 2007). ....	16
Slika 14: Prikaz poteka meritev z instrumentom Topcon GPT-7000i (Ohtomo in Sakimura, 2007).....	17
Slika 15: Diagram prikazuje primer izmerjenih objektov na zaslonu instrumenta (Ohtomo in Sakimura, 2007). ....	18
Slika 16: Elektromagnetno valovanje ( <a href="http://en.wikipedia.org">http://en.wikipedia.org</a> , 2009).....	20
Slika 17: Spekter elektromagnetnega valovanja ( <a href="http://www.kvarkadabra.net/mediagallery/popup.php?s=20060326214527911&amp;sort=0">www.kvarkadabra.net/mediagallery/popup.php?s=20060326214527911&amp;sort=0</a> ). ....	21
Slika 18: Prikaz lomnega zakona, potovanje svetlobe skozi snovi z različnimi lomnimi količniki.....	22
Slika 19: Prikaz loma svetlobe (zelena), odboja svetlobe (modra) in mejnega primera – totalni odboj (rdeča) ( <a href="http://www.fiberoptics4sale.com">http://www.fiberoptics4sale.com</a> , 2009).....	24
Slika 20: Prikaz odbojnega zakona.....	24
Slika 21: Energijski pasovi prevodnika, izolatorja in polprevodnika (Pople, 2007).....	27
Slika 22: Zgradba MOSFET tranzistorja – prerez ( <a href="http://colos.fri.uni-lj.si/ERI/RACUNALNISTVO/RAC_SLOJI/Tranzistor.html">http://colos.fri.uni-lj.si/ERI/RACUNALNISTVO/RAC_SLOJI/Tranzistor.html</a> ).....	29
Slika 23: Prikaz delovanja senzorja CCD ( <a href="http://en.wikipedia.org">http://en.wikipedia.org</a> , 2009). ....	30
Slika 24: Razlika v sestavi in delovanju senzorja CCD in CMOS ( <a href="http://sl.wikipedia.org">http://sl.wikipedia.org</a> )....	31
Slika 25: Filtri a) tribarvni Bayerjev b) štiribarvni filter c) tristrana prizma d) tristopenjski slikovni senzor Foveon X3 ( <a href="http://en.wikipedia.org">http://en.wikipedia.org</a> , 2009).....	33
Slika 26: Shematski prikaz rešitve problema s čipom za obdelavo podob (Sakimura in Maruyama, 2007). ....	36
Slika 27: Poenostavljen prikaz delovanja čipa za obdelovanje in združevanje slikovnih in grafičnih podatkov (Sakimura in Maruyama, 2007). ....	36
Slika 28: Kolinearnost sistema, prikaz parametrov in členov transformacije med merskim terestričnim koordinatnim sistemom in koordinatnim sistemom kamere (Sakimura in Maruyama, 2007). ....	37

Slika 29: Slika prikazuje funkcijo zaslona QVGA, na zaslonu se prikazuje le 25% podatkov zajetih na senzorju CMOS (Topcon Reference Manual, 2006b).....	41
Slika 30: Shematski prikaz vzporednega večkratnega podatkovnega procesorja in čipa za obdelavo podob (Sakimura in Maruyama, 2007). .....	42
Slika 31: Slika prikazuje funkcijo »edge extraction«, desna slika prikazuje (+) in odmike nitnega križa (Topcon Reference Manual, 2006c). .....	43
Slika 32: Primer računanja parametrov premice na točki (Zadnikar, 2009). .....	45
Slika 33: Rezultat glasovanja v Houghovem akumulacijskem prostoru (Zadnikar, 2009). .....	46
Slika 34: Prikaz testnega polja 1 – zimske vaje ter uporabljenih signalov.....	48
Slika 35: Prikaz testnega polja 2 – park (širokokotni pogled) in treh prizem (podoba, zajeta s pomočjo senzorja v daljnogledu instrumenta).....	49
Slika 36: Testno polje 3 – streha fakultete, podobe prikazujejo smeri proti signalom (širokokotni pogled - podnevi) ter posamezni signali posneti proti večeru. ....	51
Slika 37: Točka 4012 je bila merjena s programom določitev roba, točka 4013 je bila merjena s klasičnim viziranjem skozi okular daljnogleda.....	54
Slika 38: Točka 4009 je bila merjena s programom določitev roba, točka 4010 je bila merjena s klasičnim viziranjem skozi okular daljnogleda.....	55
Slika 39: Točka 4020 je bila merjena s programom določitev roba, točka 4021 je bila merjena klasičnim viziranjem skozi okular daljnogleda. ....	56
Slika 40: Točka 4010 je bila merjena s programom določitev roba, točka 4011 je bila merjena s klasičnim viziranjem skozi okular daljnogleda – merjeno sredi dneva. ....	57
Slika 41: Točka 4001 je bila merjena s programom določitev roba, točka 4002 je bila merjena s klasičnim viziranjem skozi okular daljnogleda – merjeno proti večeru. ....	57
Slika 42: Točka 4022 je bila merjena s programom določitev roba, točka 4023 je bila merjena s klasičnim viziranjem skozi okular daljnogleda (podatki o tem primeru se nahajajo v preglednici 7). .....	58
Slika 43: Točka 4010 je bila merjena s programom določitev roba, točka 4011 je bila merjena s klasičnim viziranjem skozi okular daljnogleda (podatki o tem primeru se nahajajo v preglednici 6). .....	58

## **OKRAJŠAVE IN SIMBOLI**

CCD	(angl. Charge Coupled Devices)
CMOS	(angl. Complementary Metal Oxide Semiconductors)
CPE	centralna procesna enota
MOS	(angl. Metal Oxide Semiconductor)
FET	(angl. Field Effect Transistor)
TFT LCD	(angl. thin-film technology liquid crystal display)



## 1 UVOD

Geodetska stroka v zadnjih desetletjih doživlja izredno hiter razvoj. V sodobni geodetski instrumentarij je vgrajeno veliko sodobne tehnologije, da olajša delo, poveča natančnost, točnost meritev ter izboljša analiziranje in ponovno uporabo izmerjenih podatkov. Sodobna tehnologija se razvija tako hitro, da pravkar patentirani izum kmalu zastari oziroma doživi izboljšave. Zadnja leta se na trgu pojavlja vedno več novih, dovršenih in naprednih instrumentov, ki vsebujejo najnovejše izume in patente. Uporaba slikovnih senzorjev pri digitalnih nivelirjih in elektronskih tahimetrih je primer sodobne tehnologije v klasični geodeziji. Bistvo tovrstnih elektronskih naprav je pretvorba analognih signalov v digitalno obliko podatkov. Te pa s pomočjo programske opreme in uporabniku prijaznega grafičnega vmesnika, ki se nahaja v instrumentu, obdelujemo, analiziramo in shranjujemo že v času izmere. Sodobni elektronski tahimetri omogočajo polavtomatsko in tudi avtomatsko opravljanje meritev.

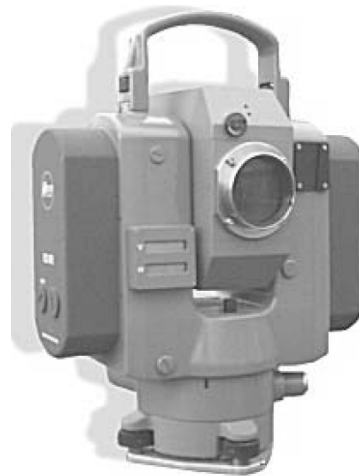
Uporaba in obdelava digitalnih podob, zajetih s slikovnimi senzorji, postaja vedno bolj razširjena v znanosti in tehnologiji. Procesne enote in senzorji občutno zmanjšujejo proizvodne stroške in povečujejo izkoriščenost strojne opreme, tako da proizvod postaja bolj učinkovit in ekonomičen. Zato ne preseneča, da ta tehnologija spreminja klasično geodezijo. S povečano avtomatizacijo povečamo kvaliteto, hitrost in uporabnost meritev.

V diplomski nalogi smo želeli raziskati in preučiti delovanje ter prednosti instrumenta Topcon Imaging Total Station GPT-7003i. To je prvi serijsko izdelan instrument na trgu, ki ima poleg vseh značilnosti običajnega elektronskega tahimetra vgrajen tudi slikovni senzor (Topcon, 2008). Slikovni senzor ima več funkcij. Prva je ta, da se zajete podobe iz senzorja dodajo vsaki izmerjeni točki. Druga funkcija je pomoč pri samem snemanju, saj je slika, ki jo vidimo skozi okular daljnogleda, identična na zaslonu instrumenta, le da so dodane še posamezne posnete točke ali celo točke povezane v linije. S tem pridobimo vizualno sliko, kaj je na posameznem stojišču posneto in kaj še manjka. Dodatno pa nam pri izvajanju meritev ni treba opazovati skozi okular daljnogleda.

## 2 ZGODOVINSKI PREGLED RAZVOJA VIDEOTAHIMETRA

Najbolj osnovna naloga klasične geodezije je natančna določitev 3R (trirazsežnih) koordinat točk. Merjenje 3R točk, ki jih signaliziramo s prizmami, je lahko popolnoma avtomatiziran proces. Vendar je v mnogih primerih praktično nemogoče postaviti prizmo na želeno mesto izmere. V teh primerih lahko slikovna tahimetrija (angl. image analysis method) z laserskim načinom merjenja razdalj zamenja klasične meritve s prizmo. To pomeni, da slikovni senzor zbira prostorske, spektralne in radiometrične podatke zelene točke in njene okolice. Kombinacija kamere s slikovnim senzorjem in teodolita je opisal Gottwald že dve desetletji nazaj (Juretzko, 2004). Nekaj takratnih teodolitov, ki so bili kombinirani s kamero, je bilo uporabljenih v industrijskih meritvah. Delovali so na način opazovanja smeri iz dveh različnih stojišč hkrati, tako so dobili z zunanjim urezom 3R koordinate opazovane točke. To metodo so lahko uporabili, če so poznali razdaljo med stojiščema in če so pravilno orientirali instrumenta.

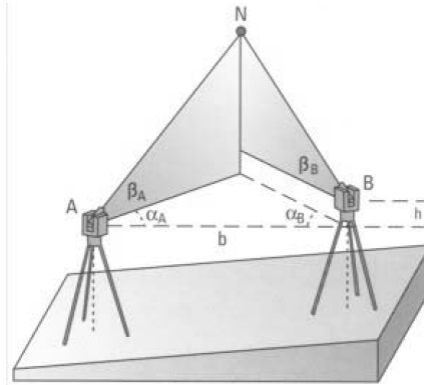
### 2.1 Instrument Kern E2-SE



Slika 1: Instrument Kern E2-SE (Juretzko, 2004).

Leta 1987 je podjetje Kern proizvedlo videoteodolit E2-SE z zunanjim računalnikom. Instrument je imel vgrajeno kamero CCD, imel je motorizirano vrtenje okoli obeh osi instrumenta in je omogočal natančno merjenje smeri. Upravljanje z instrumentom je bilo

mogoče samo s kontrolno ročico. Vpadni snop žarkov je padal skozi delilnik snopa žarkov, ki jih je razdelil v razmerju 50:50, polovica žarkov je torej prešla na kamero, druga polovica pa skozi okular daljnogleda do operaterja. Videosignal je bilo možno opazovati na monitorju. S pomočjo orodja za obdelavo slik pa je bilo sliko možno tudi obdelati. V prvi vrsti je opisan sistem namenjen industrijskemu merjenju. Ustrezna programska oprema SPACE je omogočala različne avtomatizirane merske postopke.



Slika 2: Slika prikazuje metodo merjenja in določanja 3R koordinat točk (Juretzko, 2004).

Na ta način je bilo možno izvajati meritve na odbojne nalepke in na druge označene točke, ki so bile nameščene na izmeritvene objekte. Sistem dveh instrumentov je omogočal merjenje 3R koordinat točk določenih profilov. To je potekalo s pomočjo dveh instrumentov. Prvi je z laserskim kazalcem signaliziral določen profil, drugi instrument pa mu je sledil, meril ter beležil podatke. Nato so z znano dolžino med instrumentoma in njeno orientacijo s pomočjo prostorskega ureza izračunali 3R koordinate iskanih opazovanih točk.

## 2.2 Instrument Leica TM3000V

Za instrumente, ki imajo vgrajen slikovni senzor, moramo poznati položaj tega sensorja. Poznamo dve možnosti postavitve slikovnega sensorja. V vsakem primeru morata biti optični osi obeh sistemov vzporedni. Prva možnost je biaksialna vgradnja slikovnega sensorja, to pomeni, da imamo paralaktično napako. Os daljnogleda in kamere nista na isti optični osi, sta zamaknjeni, vendar še vedno vzporedni. Druga možnost pa je koaksialna vgradnja slikovnega sensorja v daljnogled instrumenta. Optični osi sovpadata, to pomeni, da nimamo paralaktičnih

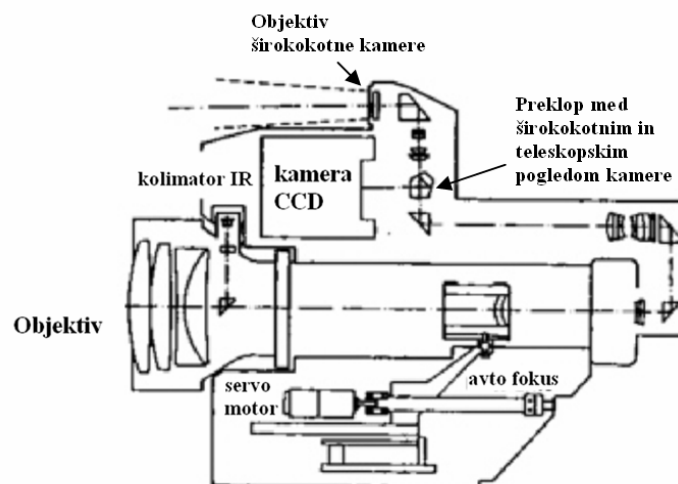


popravkov. Takšen sistem je zato bolj uporaben, ker daje boljše rezultate, zmanjša možnosti napak. Koaksialen sistem je težko skonstruirati, saj mora biti senzor nameščen v samo optiko daljnogleda.



Slika 3: Leica TM3000V (Juretzko, 2004).

Snop žarkov se razdeli na dva ali več posameznih žarkov, ki padajo na senzor CCD ali pa na okular daljnogleda. Lep primer te možnosti je instrument Leica TM3000V ter obravnavani instrument Topcon GPT-7003i.



Slika 4: Shematski prikaz optike daljnogleda in senzorja CCD (Juretzko, 2004).

Leica TM3000V je bil narejen leta 1989. Instrument je avtomatski in je opremljen s kamero CCD, senzor CCD je vgrajen centrično glede na optično os daljnogleda. Krmiljenje instrumenta poteka bodisi s programsko opremo, bodisi s krmilno ročico, podobno kot pri

instrumentu Kern E2-SE. Ker je Leica TM3000V avtomatiziran in ima kamero CCD, je zanimiv tudi za raziskave in nadgradnje, ki jih izvajajo strokovnjaki iz geodetske stroke. Tako je Roic razvil metodo za registriranje nesignaliziranih 3R struktur z vizualnim opazovanjem. Mischke je izmeril nesignalizirane točke enostavno strukturiranih objektov z obdelavo digitalnih podob. Razvoj je vzpodbujalo delo, ki sta ga opravila Fabiankowitsch, leta 1990 in Wieser, leta 1995. Vsi so uporabljali naveden instrument. Vse meritve točk temeljijo na prej omenjeni metodi dveh instrumentov. Prvi instrument identificira strukturo opazovanega objekta, tako da uporabi točkovne operatorje kot so Förstnerjevi operatorji. Po identifikaciji pomembnih točk potem drugi instrument avtomatsko zajame te točke. Končni preračun koordinat teh točk dobimo s prostorskim urezom. Zadnje raziskave s tem instrumentom vodijo v smer, da je Niessner uporabil barvni senzor CCD za kvalitativno deformacijsko analizo. Seatovic je leta 2000 razvil kontrolno programsko opremo za ta instrument. Implementacija je razdeljena na dva dela, prva je obračanje okoli osi in zajemanje podatkov, druga pa je obdelava video podatkov, s čimer je omogočeno avtomatsko merjenje.

### 2.3 Instrument Geodimeter CD 400 SERVO

Uffenkamp je predstavil koncept za optično-elektronsko kamero daljše goriščne razdalje, integrirano v teodolit, ki omogoča natančno merjenje kotov (Juretzko, 2004). Eksperimentalna zasnova takšne konstrukcije je bila izvedena s kamero Rollei VC METRIC z  $756 \times 581$  piksli, ki je bila nameščena neposredno na daljnogled teodolita Geodimeter CD 400 SERVO.

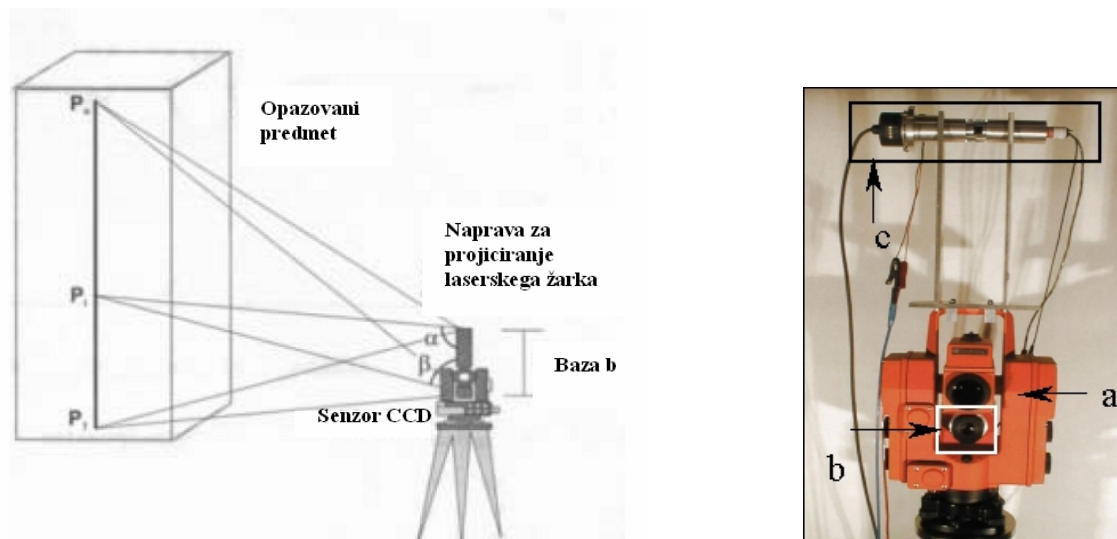


Slika 5: Predelava instrumenta po Uffenkampu (Juretzko, 2004).

Posebna prednost tega koncepta pred videoteodolitom je bila neposredna uporaba tehnike Réseau, ki omogoča enostavno možnost spreminjanja zornega kota pri konstantni geometriji podob. Pri tej tehniki je slikovni senzor kamere premaknjen v smeri osi daljnogleda za Réseau ploščo. Orientacijo senzorja je možno določiti s pomočjo meritev Réseau križev, ki so projicirani na slikovni senzor. Orientacijo senzorja je možno izračunati ob vsaki spremembi zornega kota daljnogleda.

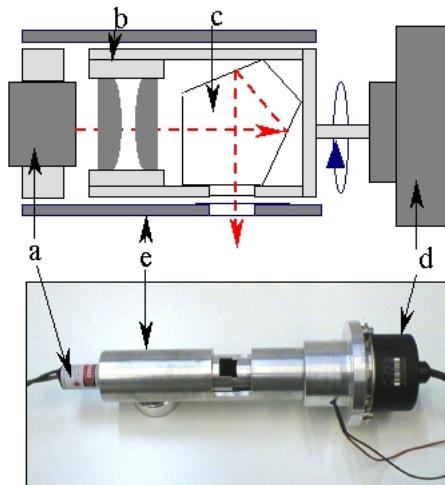
## 2.4 Instrument Geodimeter 520

Merski sistem, ki lahko določa nesignalizirane točke na površini objekta s pomočjo zunanjega ureza, je predstavil Hovenbitzer (Juretzko, 2004). Kot osnova temu hibridnemu sistemu služi elektronski tahimeter Geodimeter 520, instrument ima motorizirane vrtilne osi. Sistem je sestavljen iz treh glavnih delov. Tahimeter ima vgrajen slikovni senzor CCD, nameščen pod daljnogled ter napravo za projiciranje laserskega žarka. Daljinsko vodljive vrtilne osi tahimetra omogočajo avtomatsko opazovanje objekta. Sistem omogoča 3R zajem objekta ter vizualen oziroma realističen prikaz objekta v rezultatih merjenja. Določitev koordinat omogoča znana konstrukcijska razdalja (baza) med senzorjem CCD in napravo za projiciranje laserskega žarka.



Slika 6: Predelava instrumenta po Hovenbitzerju a) tahimeter Geodimeter 520, b) senzor CCD, c) naprava za projiciranje laserskega žarka (Juretzko, 2004).

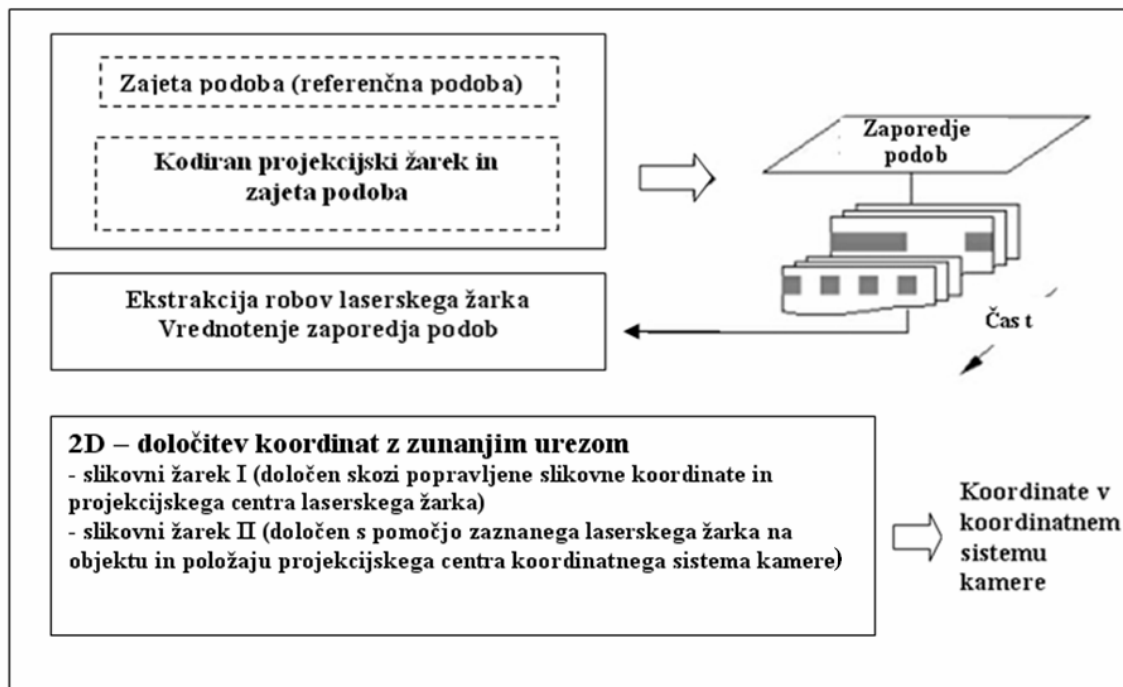
Napravo za projiciranje laserskega žarka tvori laserska dioda, ki je izvor svetlobe. Laserski snop žarkov poteka skozi optiko do petkotne prizme, ki odkloni žarek za 90°. Motor v napravi nato prizmo konstantno rotira, tako tvori navidezen vertikalni snop svetlobe na opazovanem objektu.



- a) laserska dioda razreda 3B
- b) cilindrična optika
- c) petkotna prizma
- d) motor
- e) ohišje naprave, ki omogoča centriranje snopa žarkov

Slika 7: Shematski prikaz naprave za projiciranje laserskega žarka (Fichtmüller, 2001).

Proces zbiranja in obdelave podatkov poteka po diagramu, predstavljenem na sliki 8.



Slika 8: Diagram zbiranja in obdelave podatkov (Fichtmüller, 2001).

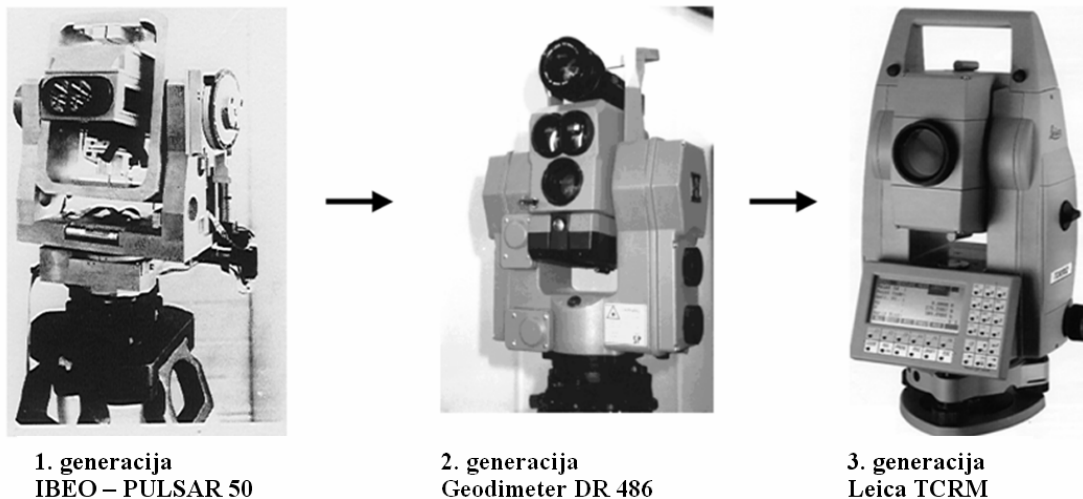
## 2.5 Razvoj instrumentov na Univerzi Bochum

Sredi devetdesetih je skupina strokovnjakov na univerzi Bochum zasnovala in razvila sistem za 3R opazovanje objektov (Juretzko, 2004). Do sedaj je bil ta sistem večkrat dograjen in izboljššan. Jedro sistema sestavlja razdaljemer oziroma tahimeter z možnostjo brezreflektorskega merjenja razdalj in z možnostjo krmiljenja instrumenta z računalnikom preko servomotorjev.

Prvo generacijo tega sistema iz leta 1994 je sestavljal razdaljemer IBEO-PULSAR 50. Krmiljenje razdaljemera je bilo mogoče s krmilno ročico. Označevanje merjene točke na objektu je bilo izvedeno z laserskim žarkom, ker običajnega daljnogleda instrument ni vseboval.

Druga generacija instrumentov temelji na modificiranem tahimetru Geodimeter DR 486 z ekscentrično nameščeno kamero CCD nad daljnogledom instrumenta.

Tretja generacija je bila izdelana leta 1998. Sestavlja jo prvi serijsko izdelan, računalniško vodljiv elektronski tahimeter Leica TCRM.

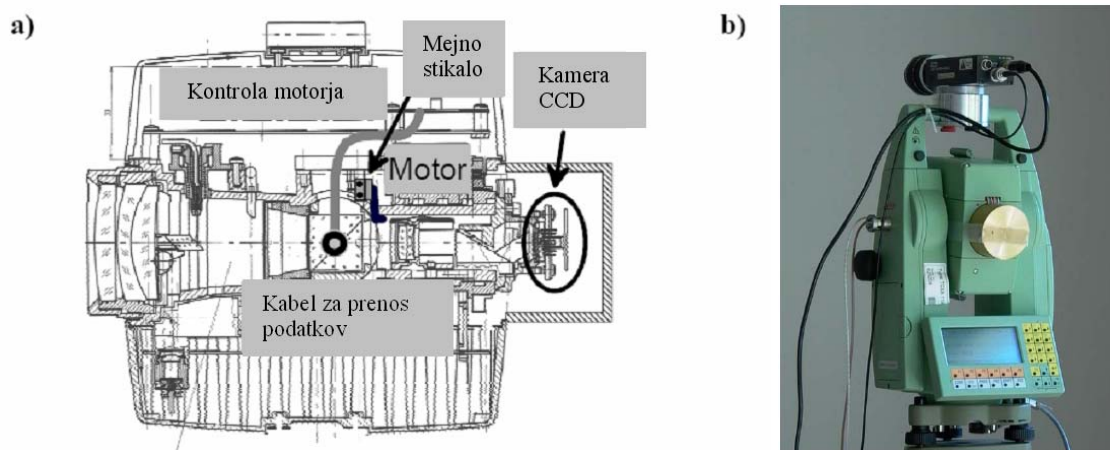


Slika 9: Nadgradnja različnih instrumentov na Univerzi Bochum (Scherer, 2002).

Avtorji sistema so razvili tudi programsko opremo za navedene instrumente, tako da so instrumenti zelo uporabni na področjih opazovanj arhitekturnih in zgodovinskih spomenikov. Osrednje načelo pri razvoju je bila ideja, da se vsa izmera, kontrola in rezultati obdelajo na terenu (Scherer, 2002). Razvili so poseben programski paket TOTAL, nameščen na prenosnem računalniku, ki je povezan z instrumentom. Programska oprema omogoča vodenje in izvajanje avtomatske ali polavtomatske izmere. Omogoča natančno prepoznavanje robov in ostalih značilnih linij opazovanega objekta. Omogoča tudi krmiljenje instrumenta in s tem merjenje značilnih in pomembnih točk objekta, merjenje skritih točk s posebno kodirano palico. Sistem omogoča veliko natančnost, minimalno število točk ter nizko ceno instrumentarija v primerjavi z laserskim skenerjem.

## 2.6 Razvoj IATS po Walserju

Prototip IATS (angl. Image Assisted Total Station) je izdelal Walser zaradi potrebe po elektronskem tahimetru z integrirano kamero CCD, avtomatskem ostrenju slike ter brezreflektorsko tehnologijo merjenja razdalj (Walser, 2004). Osnova za prototip je elektronski tahimeter Leica TCRM 1101, ki ima servomotorje na vrtilnih oseh daljnogleda, laserski kazalnik, možnost merjenja razdalj na prizmo in brez nje. Elektronskemu tahimetru so vgradili kamero CCD v samo optiko daljnogleda in sicer v sam okular daljnogleda, tako nadomešča človeško oko.



Slika 10: Nadgradnja elektronskega tahimetra Leica TCRM 1101 a) shematski prerez daljnogleda b) prototip IATS po Walserju (Walser, 2004).

Ta kamera zajema digitalne podobe detajlne točke s povečavo, ki je enaka povečavi daljnogleda. Avtor je integriral še avtomatsko ostrenje v optiko daljnogleda, tako ob vsaki spremembi položaja daljnogleda dobimo izostreno digitalno podobo na kameri CCD. Instrument ima pritrjeno širokokotno kamero na vrhu instrumenta, ki zajame večje območje okoli posamezne detajlne točke.

Walser je leta 2004 v doktorski disertaciji opisal in predstavil vse lastnosti tega prototipa ter tudi izvedel poskuse. Predstavljene so tehnične lastnosti prototipa, avtomatsko ostrenje, stabilnost kamere, optični in mehanski deli, pogoški, natančnost kamere, algoritmi merjenja, kalibracije kamere ter praktični primeri uporabe prototipa.

### **3 VIDEOTAHIMETER**

Videotahimeter je razvilo podjetje Topcon, vodilno na svetu v izdelavi natančnih geodetskih merskih sistemov. Topcon GPT-7003i je elektronski tahimeter, ki nadaljuje uspešno tradicijo tehnologije merjenja razdalj na dva načina: brezreflektorsko in s pomočjo reflektorja (Topcon, 2004). Instrument ima integriran računalnik z operacijskim sistemom Windows CE.NET ter grafični zaslon, občutljiv na dotik. Glavna prednost instrumenta sta vgrajena dva slikovna senzorja. Prvi zajema podobe zornega kota  $28^\circ$ , drugi pa je nameščen koaksialno v daljnogled tahimetra ter zajema podobe detajlnih točk zornega kota  $1^\circ$ . Vsaki izmerjeni detajlni točki tako pripadeta še dve podobi, ki se samodejno shranita v pomnilnik instrumenta. Podobe so nato v pomoč pri obdelavi podatkov ter povečajo njihovo uporabnost. Slikovna senzorja pa ne zajameta samo podobe, ampak sta nam v pomoč pri vseh delih z instrumentom. Slikovna senzorja služita kot kameri, ki na zaslonu prikazujeta živo sliko. Tako nam praktično ni potrebno opazovati skozi daljnogled instrumenta, ampak lahko izvajamo meritve ali opravljamo zakoličbo samo s pomočjo zaslona. Na zaslonu se prikazuje živa slika, na katero so pripeti grafični podatki trenutne izmere. Ta prednost nam omogoča, da lahko v vsakem trenutku preverimo, kaj imamo izmerjeno in kaj še moramo izmeriti. Torej ni več vračanja na kraj izmere, odpade tudi zamudno ugotavljanje, kje je bila posamezna detajlna točka posneta, v tem primeru samo preverimo shranjeni podobi posamezne točke.

#### **3.1 Zajem stanja na terenu**

Video tahimeter Topcon GPT-7003i omogoča tako imenovan zajem stanja na terenu (angl. capture reality). Lastnost mu omogoča brezreflektorsko merjenje razdalj v kombinaciji s tehnologijo digitalne fotografije. Tahimeter omogoča merjenje razdalj z brezreflektorsko tehnologijo do 250 m, s pomočjo reflektorja pa do 3000 m (Davis, 2006). Meritve in njihovo shranjevanje opravlja vgrajen računalnik s programsko opremo TopSurv. Uporabo instrumenta in programske opreme za merjenje olajša na dotik občutljiv zaslon TFT LCD. Tahimeter omogoča operaterju enostavno delo na terenu, tako pri topografski izmeri terena, kot tudi pri zakoličbi. Na terenu je možno grafično preveriti vse zajete točke, tako da ne pride do manjkajočih ter podvojenih točk. Na grafičnem zaslonu lahko preverimo, če smo zakoličili vse zahtevane točke in če ustrezajo zahtevanim natančnostim. Povezava digitalne podobe z



izmerjeno točko nam olajša obdelavo primera, eliminira neznane točke ter poveča produktivnost na terenu. Pravilna izbira kode, v povezavi z digitalnimi podobami, dopušča možnost, da na terenu ni potrebno voditi terenske skice. Omenjena možnost tahimetra poveča njegovo uporabnost za različne namene. S tem namenom ga uporabljajo takrat, kadar mora biti stanje dokumentirano in ovrednoteno kot dokazno gradivo. Tako uporabljajo takšen instrument za forenzične preiskave, dokumentiranje prometnih nesreč, kriminalnih dejanj, nadzor pomembnih objektov ter nenazadnje za potrebe fotogrametrije (Skelton, 2006 in Bijlsma, 2007). Tahimeter omogoča zajem širokokotne podobe, ki pokriva celoten obseg izmere. Teleskopski zajem podobe prikazuje, kje je bila posamezna točka posneta. Izhodni podatki instrumenta omogočajo vizualen in fizičen prikaz terena in na njem povezane objekte. Tahimeter Topcon GPT-7003i omogoča merjenje nedostopnih in nevarnih objektov kot so plazovi, kamnolomi in drugi nedostopni objekti z veliko detajli. Končna obdelava podatkov izmere poteka s pomočjo digitalnih podob. Podatke enostavno obdelamo, jih prenesemo na primer v program CAD in tam nadaljujemo z izdelavo topografskega načrta terena do končnega izdelka. Tahimeter je primeren za izmero zaščitene kulturne dediščine. S pomočjo tahimetra in digitalne kamere velike ločljivosti ter posebnega programa lahko naredimo model poljubnega objekta oziroma prikažemo detajl na njem.

### 3.2 Tehnični podatki in sestavni deli

V Preglednici 1 podajamo tehnične podatke tahimetra Topcon GPT-7003i.

Preglednica 1: Tehnični podatki tahimetra Topcon Imaging Total Station GPT-7003i (Topcon Instruction Manual, 2006a)

<b>Daljnogled</b>	
Dolžina	150 mm
Premer objektiva	45 mm (EDM 50 mm)
Povečava daljnogleda	30×, pokončna
Vidno polje daljnogleda	1°30′
Najkrajša oddaljenost do cilja	2 m
<b>Merjenje dolžin</b>	
Doseg / natančnost merjenja brez reflektorja	1.5 m do 250 m / ± 5 mm
Doseg merjenja na en reflektor	3000 m
Natančnost merjenja na en reflektor	do 25 m ±(3 mm + 2 ppm×D[mm])
	nad 25 m ±(2 mm + 2 ppm×D[mm])

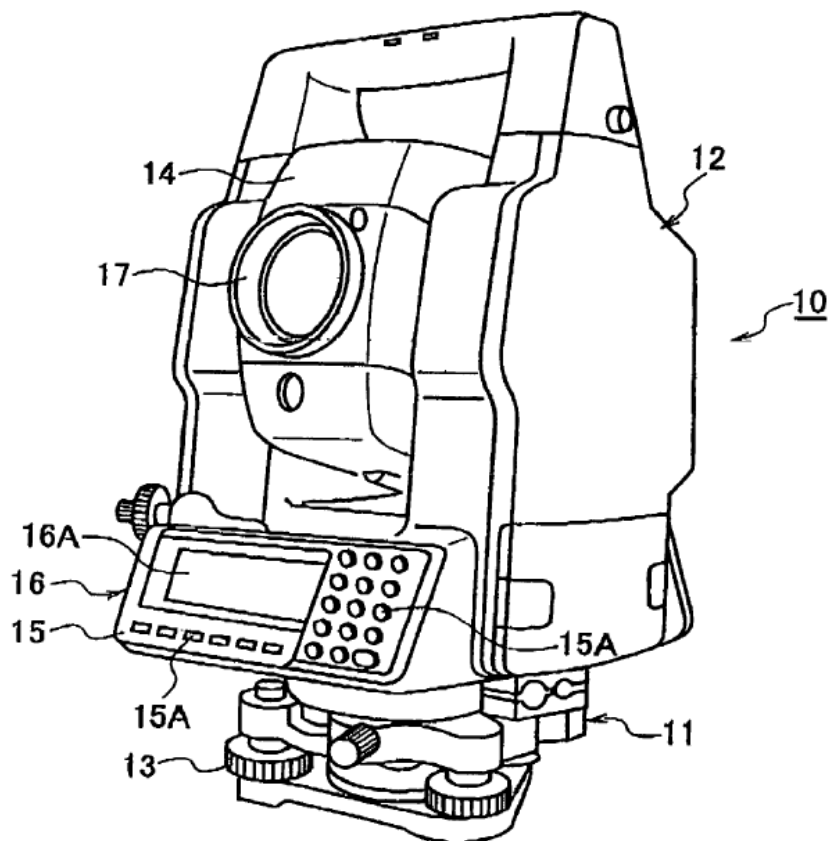
»se nadaljuje...«

»...nadaljevanje«

<b>Najmanjši možni interval čitanja / čas meritev glede na način merjenja razdalj</b>	
Super Fine Measurment Mode	0.2 mm; približno 3.0 s
Fine Measurment Mode	1.0 mm; približno 1.2 s
Coarse Measurment Mode	1.0 mm; približno 0.5 s
Tracking Measurment Mode	10 mm; približno 0.3 s
Prikaz meritev na zaslonu	11 številok; maks. prikaz ±9999999.9999
<b>Merjenje kotov</b>	
Metoda	Absolutno merjenje
Merjenje horizontalnih in vertikalnih kotov	V dveh diametralnih legah
Najmanjši možni interval branja	1" / 5"
Natančnost merjenja po standardu DIN 18723	3"
Premer vertikalnega in horizontalnega kroga	71 mm
<b>Kompensator</b>	
Tip in metoda	Dvoosni tekočinski kompensator
Območje uravnovešenja / natančnost	± 4' / 1"
<b>Optično grezilo</b>	
4° vidno polje, 3× povečava, zmožnost izostritve od 0.5 m do neskončnosti, slika je pokončna	
<b>Digitalna kamera</b>	
Vidno polje širokokotne kamere	28° (f = 8 mm F2.5)
Vidno polje kamere v daljnogledu	Približno 1° (f = 248.46 mm)
Tip senzorja	CMOS
Število pikslov	VGA (640 × 480)
<b>Vgrajeni računalnik</b>	
Operacijski sistem	Microsoft® Windows® CE.NET 4.2
Procesna enota	Intel XPA255 400 MHz
RAM	128 MB
ROM	256 MB Flash ROM + 64 MB SD kartica
Pomnilniška kartica	CompactFlash Card (tip I/II)
<b>Zaslon na obeh straneh</b>	
320×240 (QVGA) točkovni barvni zaslon LCD TFT, občutljiv na dotik in z osvetlitvijo ozadja	
<b>Drugi podatki</b>	
Dimenzije instrumenta	343 mm (V) × 245 mm (Š) × 219 mm (D)
Teža instrumenta / kovčka	6.5 kg / 4.7 kg
Odpornost proti vodi in prahu	IP54 po standardu IEC60529
Temperaturno območje delovanja	-20°C do +50°C
Tip merskega laserja / kazalnega laserja	Class 1 / Class 2
<b>Li-ionska baterija BT-61Q</b>	
Izhodna napetost	DC 7.4 V
Kapaciteta	4400 mAh
Maksimalen čas delovanja na temperaturi 20°C pri meritvah dolžin	3.5 h
Maksimalen čas delovanja na temperaturi 20°C pri merjenju kotov	6.0 h
Masa	0.2 kg

### 3.3 Povzetek patenta U.S. Patent številka 7177016

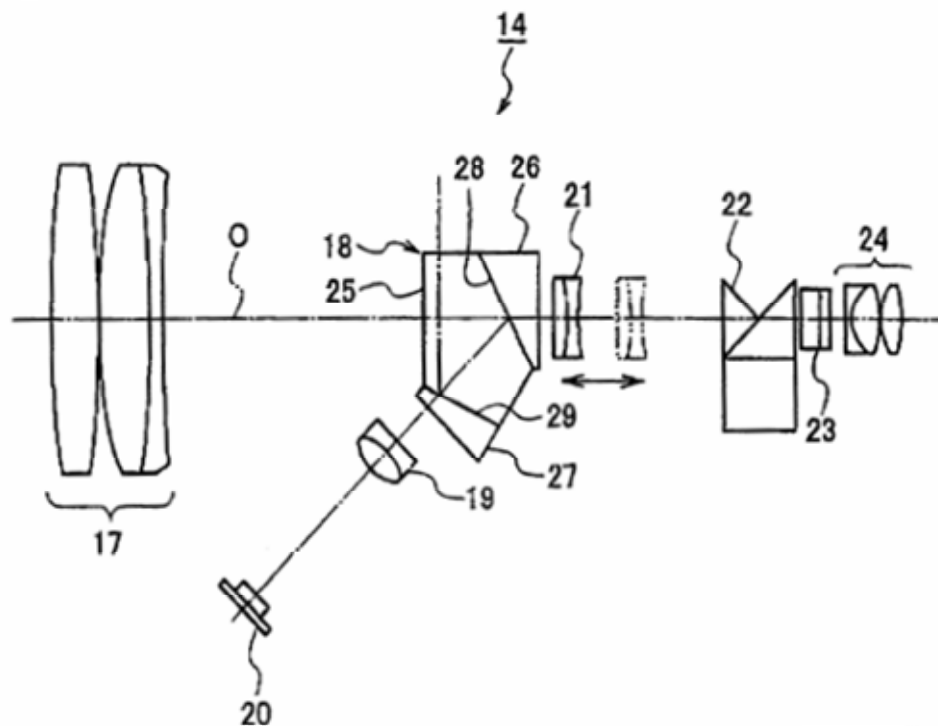
Podjetje Topcon je instrument Topcon GPT-7000i zaščitilo s patentom U.S. Patent 7177016 dne 13. februarja 2007, njegova veljavnost je bila 176 dni (Ohtomo in Sakimura, 2007). Patent opisuje zgradbo in delovanje instrumenta Topcon GPT-7000i. V dokumentaciji so opisani in predstavljeni posamezni sestavni deli instrumenta, na koncu je opisan tudi postopek merjenja z njim.



Slika 11: Shematski prikaz instrumenta prikazuje sestavne dele instrumenta (Ohtomo in Sakimura, 2007).

Slika 11 prikazuje shematski prikaz instrumenta, njegove posamezne dele, ki so pomembni za delovanje. Instrument je zgrajen iz podnožja (11), ki ga pritrdimo na stativ. Na podnožju so nameščeni vznožni vijaki (13), s katerimi instrument fino centriramo in horizontiramo.

Instrument ima vhodno oziroma izhodno komandno ploščo (16), kjer se nahaja tipkovnica (15A) in zaslon, občutljiv na dotik (16A), s katerim upravljamo instrument. Na sliki 11 so s številkami označeni še objektiv daljnogleda (17), ohišje daljnogleda (14) ter zgornji vrtljivi del (12).

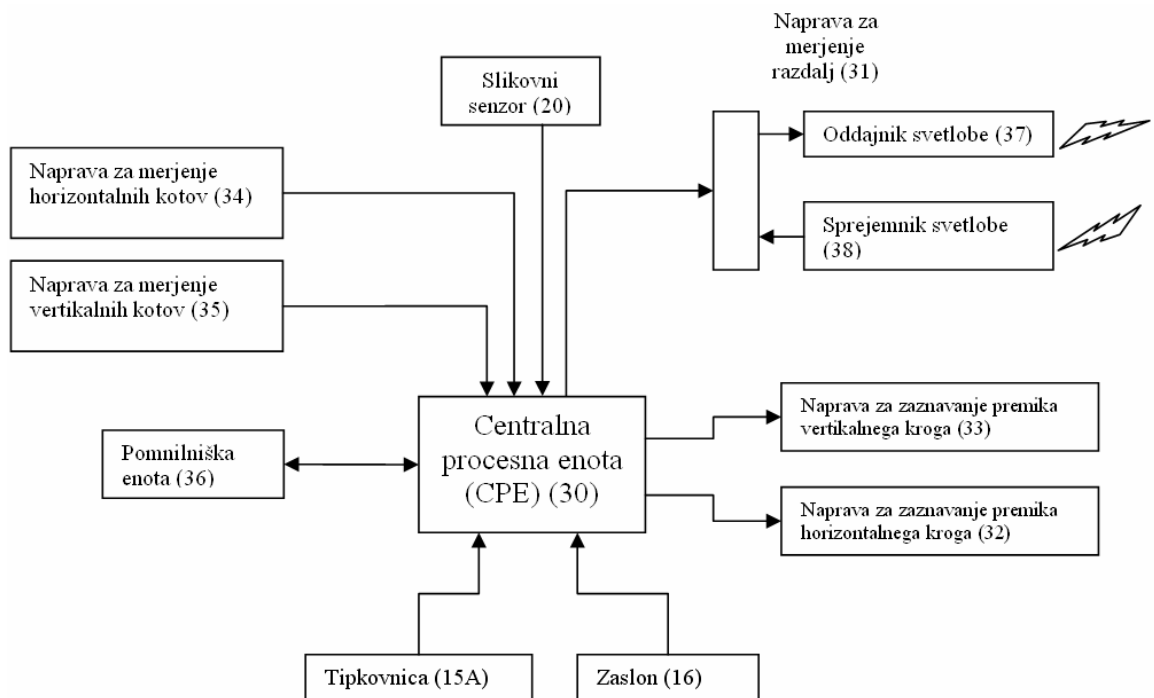


Slika 12: Prikaz optičnega sistema instrumenta (Ohtomo in Sakimura, 2007).

Slika 12 prikazuje optični sistem instrumenta Topcon GPT-7000i. Sistem leč je vgrajen v daljnogled instrumenta. Optično os daljnogleda prikazuje os O. Daljnogled sestavlja sistem leč, razpršilna prizma (18), kondenzacijske leče (19), slikovni senzor (20), fokusirne leče (21), Porrova prizma (22), plošča goriščne ravnine (23), okularne leče (24) ter leče objektiv (17).

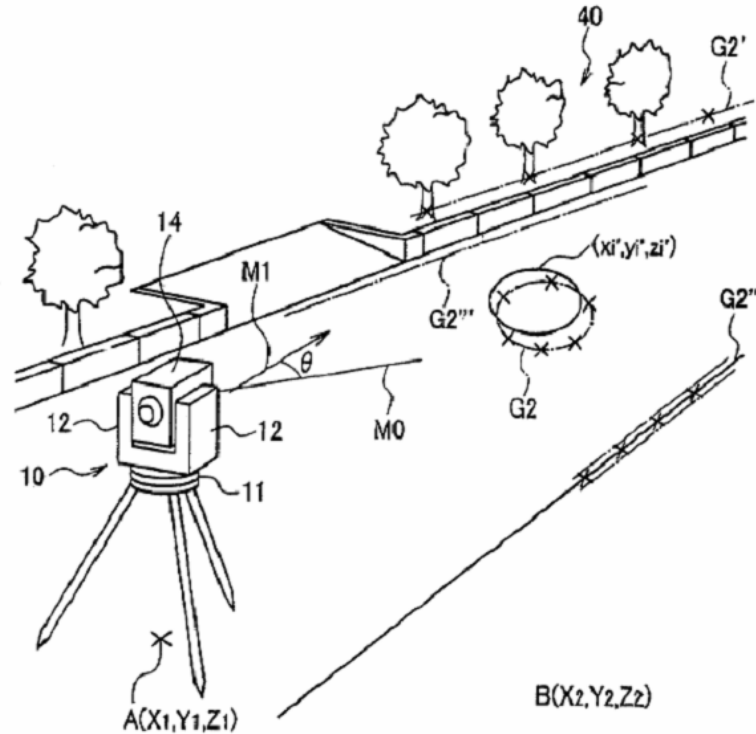
Razpršilna prizma (18) je sestavljena iz treh prizem, med katerimi se nahajajo razpršilna zrcala. Ta prepuščajo elektromagnetno valovanje določene valovne dolžine. Vidna svetloba potuje skozi leče objektiv (17), do razpršilne prizme (18), kjer se merski signal in del vidne svetlobe odbijeta na prvem razpršilnem zrcalu. Tako del vidne svetlobe potuje skozi kondenzacijske leče (19) in oblikuje podobo na slikovnem senzorju (20). Drugo razpršilno

zrcalo odbije merski signal, ki potuje do razdaljemerja, s katerim se izvajajo meritve razdalj (31). Vidna svetloba potuje do prvega razpršilnega zrcala (28), tako se formira slika na goriščni ravnini okularnih leč (23). S pomočjo fokusirnih leč (21) in Porro prizme (22) sliko izostrimo in pokončno orientiramo, tako da jo je možno opazovati skozi okular daljnogleda. Na osnovi sprejetega dela vidne svetlobe, slikovni senzor (20) odda signal, kakršnega je sprejel, do centralne procesne enote CPE (30). CPE obdela meritve in podobo, zajeto s slikovnim senzorjem in grafičnimi podatki meritev, prikaže na zaslonu instrumenta (16A) – slika 9.



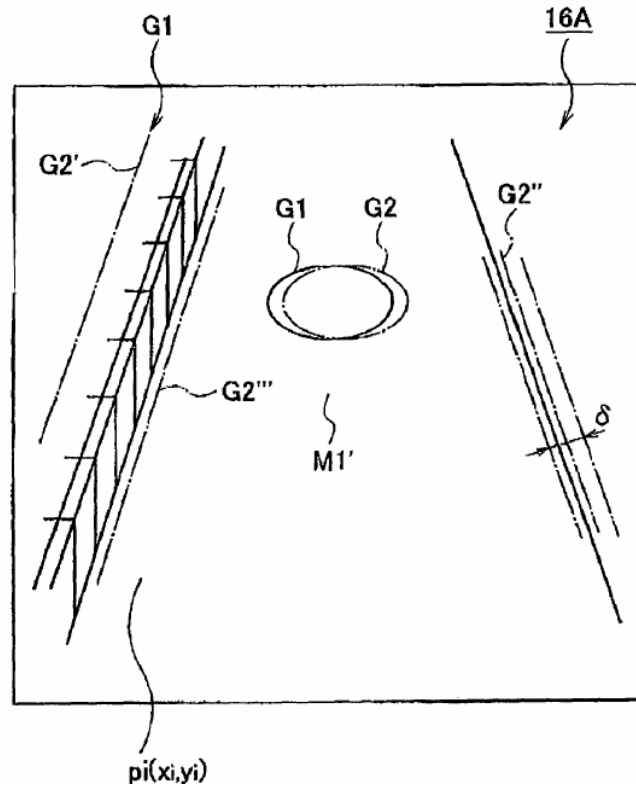
Slika 13: Prikaz diagrama elektronskih delov instrumenta (Ohtomo in Sakimura, 2007).

Slika 13 prikazuje diagram vseh sestavnih elektronskih delov instrumenta za opravljanje meritev (Ohtomo in Sakimura, 2007). Na diagramu so prikazani sestavni deli za merjenje horizontalnih in vertikalnih kotov ter merjenje razdalj. Diagram prikazuje tudi slikovni senzor, zaslon, tipkovnico in pomnilniško enoto. Vse komponente skupaj povezuje centralna procesna enota CPE. Ta upravlja s kompenzatorji, izvaja meritve, prikazuje rezultate na zaslonu ter jih shranjuje v pomnilniško enoto instrumenta.



Slika 14: Prikaz poteka meritev z instrumentom Topcon GPT-7000i (Ohtomo in Sakimura, 2007).

V patentu U.S. Patent 7177016 je opisan standardni primer geodetske izmere na terenu. Prikazuje ga slika 14. Instrument je postavljen na znano točko A, orientiran proti kontrolni točki B. Po orientaciji instrumenta v prostoru lahko začnemo izvajati meritve. Izmerimo vse značilne objekte na območju izmere. Tako predstavljajo linije G2 vstopno odprtino v kanal, G2' predstavlja model dreves v drevoredu, G2'' predstavlja model roba ceste ter G2''' predstavlja spodnji rob pločnika.



Slika 15: Diagram prikazuje primer izmerjenih objektov na zaslonu instrumenta (Ohtomo in Sakimura, 2007).

Slika 15 prikazuje realno stanje na terenu, vidno na zaslonu instrumenta, ki je bilo izmerjeno z instrumentom. Postopek merjenja je opisan na prejšnji strani. Instrument omogoča pregled digitalne podobe in grafičnih podatkov na posameznem stojišču. Instrument omogoča pregled samo grafičnih podatkov ali obeh slojev. Tako po končani izmeri na posameznem stojišču preverimo, če smo zajeli vse detajlne točke, ki jih potrebujemo. Ta prednost nam služi kot dodatek terenski skici. Ob pravilni in vestni uporabi kod pa omenjena prednost nadomesti terensko skico, saj nam programska oprema omogoča pregled digitalnih podob vseh izmerjenih detajlnih točk v pisarni.

### **3.4 Slikovni senzorji**

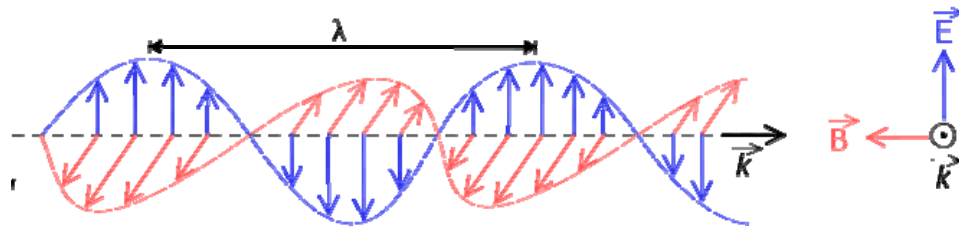
Slikovni senzorji so osnovni gradniki digitalnih fotoaparátov, kamer, različnih foto instrumentov in medicinskih instrumentov, sestavljajo tudi sisteme za preverjanje in štetje v industriji. Slikovni senzorji se uporabljajo v mnogih panogah. Iznajditelji prvih slikovnih senzorjev CCD, ki so nastali leta 1967, so dobili Nobelovo nagrado za fiziko leta 2009.

V geodetski stroki so bile fotografije del fotogrametrije, daljinskega zaznavanja in astronomije. Analogne slikovne sisteme pri opravljanju aerosnemanj hitro zamenjujejo digitalni sistemi. Prednost teh sistemov je neposredna računalniška obdelava, kjer ni potrebno skeniranje analognih podob. Geometrična pravilnost podob je bistveno boljša, saj slikovni senzor ne spreminja oblike ter omogoča enostavno in avtomatizirano kalibracijo. Zadnja leta prehajajo digitalni slikovni sistemi tudi na področja klasičnih meritev. Najdemo jih v klasičnih elektronskih tahimetrih, ki jih uporabljajo pri meritvah in dokumentiranju terena. Lahko so v pomoč pri avtomatiziranih instrumentih, kot del sistema za samodejno zaznavanje prizme in avtomatsko viziranje. Uporabljamo jih za namene fotogrametrične tahimetrije, to pomeni, da s pomočjo obdelave digitalnih podob dobimo metrične podatke za neke značilne oblike na terenu in na stavbah. Z algoritmi lahko na podobah določamo robove in druge značilne oblike, na primer okvirje oken na stavbah, z njimi ugotavljajo tudi deformacije ter premike. Možnosti uporabe slikovnih senzorjev v geodeziji se vsakodnevno povečujejo.

#### **3.4.1 Elektromagnetno valovanje**

Elektromagnetno valovanje je valovanje v električnem in magnetnem polju. Valovanje povzroča spreminjanje jakosti električnega in magnetnega polja v prostoru. Ker elektromagnetno valovanje ni vezano na snov, se lahko razširja tudi skozi vakuum (Kladnik, 1989). Glede na smer valovne količine razdelimo valovanja na longitudinalna in transverzalna. Pri longitudinalnem (vzdolžnem) valovanju je valovni vektor usmerjen vzdolž smeri širjenja valovanja, medtem ko je pri transverzalnem (prečnem) valovanju pravokoten nanjo. Vsa elektromagnetna valovanja so transverzalna.

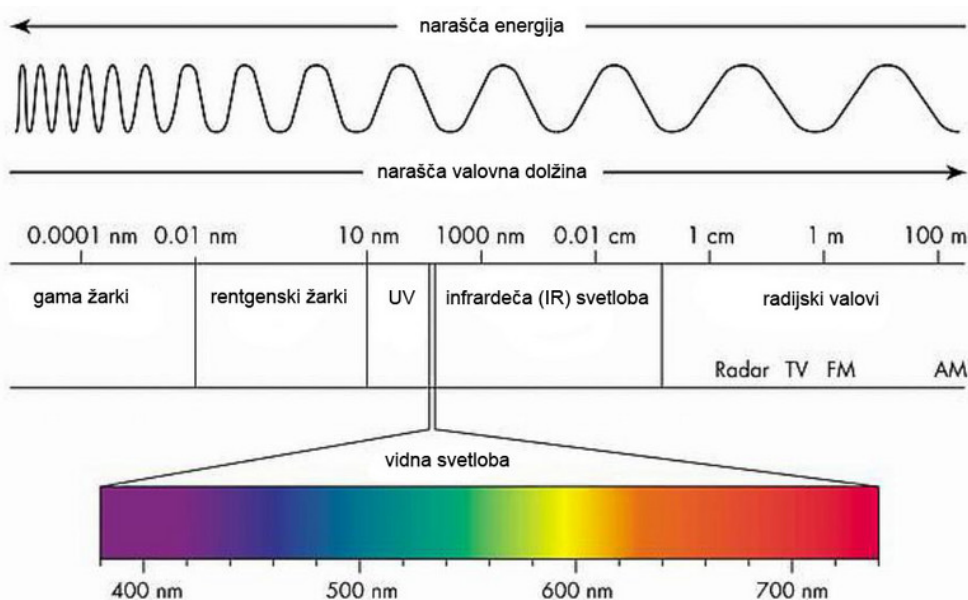




Slika 16: Elektromagnetno valovanje (<http://en.wikipedia.org>, 2009).

Elektromagnetno valovanje se v splošnem razširja skozi prostor v vseh smereh. Širi se z valovnimi frontami. Valovna fronta je ploskev vseh sosednjih mest, kjer je v danem trenutku enako velika valovna količina. V prostoru narišemo več valovnih front. Vsaka od njih povezuje sosednja mesta z enako veliko valovno količino. Razdalja med sosednjima valovnima frontama je valovna dolžina valovanja  $\lambda$ . Z valovanjem se skozi prostor razširjajo tudi valovne fronte. Njihova oblika se v splošnem med širjenjem spreminja. Pravokotnica na valovno fronto (žarek) podaja smer širjenja valovanja, to je smer hitrosti  $c$ . Izvor valovanja povzroča periodične motne, ki se ponavljajo s periodo  $t_0$ . Obratna vrednost le-te je frekvenca  $f$  izvora oziroma valovanja.

Svetloba je elektromagnetno valovanje z valovnimi dolžinami, ki jih človek preko očesa zaznava v vidnem centru velikih možganov kot posamezne barve. Elektromagnetno valovanje zajema širok spekter valovanj. Svetloba je majhen del tega valovanja. Svetlobni elektromagnetni valovi zavzemajo valovne dolžine med 380 nm in 789 nm. Valovi s krajšimi valovnimi dolžinami (npr. ultravijolični žarki) se absorbirajo v srednjem delu očesa in ne morejo prodreti do optično občutljive mrežnice na zadnji strani očesa. Infrardeči žarki na drugi strani svetlobnega dela spektra pa imajo premajhno frekvenco (fotoni s premajhno energijo), da bi lahko v mrežnici sprožili zaznavne kemične spremembe.



Slika 17: Spekter elektromagnetnega valovanja

([www.kvarkadabra.net/mediagallery/popup.php?s=20060326214527911&sort=0](http://www.kvarkadabra.net/mediagallery/popup.php?s=20060326214527911&sort=0)).

Za hitrost širjenja elektromagnetnega valovanja (svetlobe) v prostoru (vakuumu) so določili točno vrednost, ki je nastala na osnovi definicije metra in to je 299 792 458 m/s. Elektromagnetno valovanje je predstavljeno s frekvenco ali valovno dolžino valovanja, ki sta med seboj povezani v obliki:

$$c = \lambda \cdot f, \quad (3.1)$$

kjer je  $c$  hitrost svetlobe,  $\lambda$  valovna dolžina (ponavadi podana v  $\mu\text{m}$  oziroma nm včasih tudi  $\text{\AA}$ ) in  $f$  frekvenca (podana v Hz,  $1 \text{ Hz} = 1 \text{ s}^{-1}$ ).

Elektromagnetno valovanje (svetloba) je sestavljeno iz energijskih kvantov, fotonov. Fotone si predstavljamo kot paketke energije, ki se širijo s hitrostjo svetlobe v vakuumu. Energija fotona je odvisna od frekvence elektromagnetnega valovanja. Energija svetlobnih fotonov je od 3,3 eV do 1,6 eV. Foton potuje s stalno hitrostjo, ki je enaka hitrosti svetlobe v vakuumu. Fotona ne moremo pospeševati ali zavirati. Mirujočih fotonov ne poznamo. Elektromagnetno valovanje (svetloba) sodeluje s snovjo tako, da vsak foton valovanja kot delec sodeluje z atomom, elektronom ali drugim delcem snovi. Delec snovi absorbira foton in prevzame njegovo energijo.

Hitrost elektromagnetnega valovanja (svetlobe) je v snovi  $c_n$  vedno manjša kot vakuumu  $c$ . Odvisna je od vrste snovi, ki ima določen lomni količnik  $n$  ter v splošnem tudi od valovne dolžine (barve) svetlobe. Zato vpeljemo lomni količnik, to je število, ki pove, kolikokrat je hitrost svetlobe v snovi manjša kot v vakuumu:

$$c_n = \frac{c}{n} \quad (3.2)$$

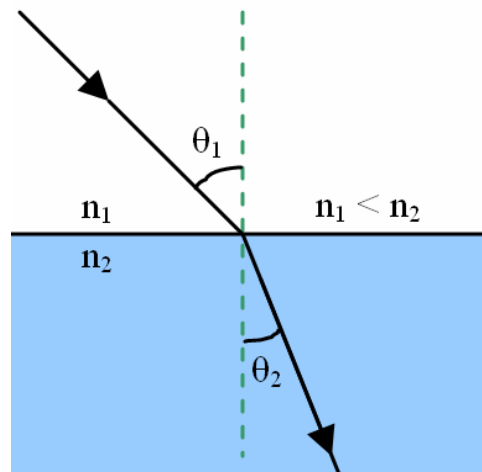
Iz definicije sledi, da je  $n$  večji od 1. Lomni količnik vakuuma je 1. Hitrost svetlobe je odvisna torej od optične gostote snovi, skozi katero prehaja. Snov je optično tem gostejša, čim manjša je hitrost svetlobe v snovi. Večji optični gostoti ustreza večji lomni količnik, in obratno. Lomni količnik snovi je odvisen tudi od barve svetlobe. Lomni količnik vijoličaste barve je večji kot lomni količnik rdeče barve.

Pot svetlobe skozi snov z različnimi optičnimi gostotami se spreminja – lahko se lomi ali odbije. Potovanje svetlobe lahko torej opišemo z lomnim ali odbojnim zakonom. Mejni primer med lomom in odbojem svetlobe pa je tako imenovan totalni odboj.

Enačba lomnega zakona je:

$$\frac{1}{c_1} \cdot \sin \theta_1 = \frac{1}{c_2} \cdot \sin \theta_2, \quad (3.3)$$

kjer sta  $c_1$  in  $c_2$  hitrosti svetlobe v snovi,  $\theta_1$  in  $\theta_2$  pa vpadni in lomni kot.



Slika 18: Prikaz lomnega zakona, potovanje svetlobe skozi snovi z različnimi lomnimi količniki.

Enačbo (3.3) pomnožimo s  $c$  (hitrost svetlobe v vakuumu) in vpeljemo lomni količnik ter dobimo:

$$n_1 \cdot \sin \theta_1 = n_2 \cdot \sin \theta_2, \quad (3.4)$$

kjer sta  $n_1$  in  $n_2$  lomna količnika snovi,  $\theta_1$  in  $\theta_2$  pa vpadni in lomni kot.

Lomni zakon za svetlobo izrazimo takole: prehajajoč iz snovi z enim lomnim količnikom v snov z drugim lomnim količnikom, se svetloba v splošnem lomi. Svetlobni žarek spremeni smer tako, da je produkt lomnega količnika in sinusa vpadnega kota na eni strani meje enak produktu lomnega količnika in sinusa lomnega kota na drugi strani meje. Svetloba se tem močneje lomi, čim bolj se lomna količnika snovi na obeh straneh meje razlikujeta.

Med prehodom iz optično gostejše snovi v optično redkejšo snov ( $n_2 < n_1$ ) se žarek lomi proč od vpadne pravokotnice, lomni kot  $\theta_2$  je večji od vpadnega kota  $\theta_1$  (slika spodaj). Če se vpadni kot poveča, se poveča tudi lomni kot. Pri  $\theta_1 = \theta_t$  pa se na primer lomni kot  $\theta_2$  poveča na  $90^\circ$ , kar pomeni, da se žarek lomi ravno vzdolž mejne ploskve. Če je vpadni kot le malo večji od  $\theta_t$ , žarek ne more preiti v drugo snov, pač pa se na mejni ploskvi odbije, tako da je odbojni kot enak vpadnemu. Mejni vpadni kot je  $\theta_1 = \theta_t$ , pri katerem se žarek lomi vzdolž meje, se imenuje kot totalnega odboja. Odvisen je od lomnih količnikov  $n_1$  in  $n_2$  na obeh straneh meje. Izračunamo ga iz lomnega zakona

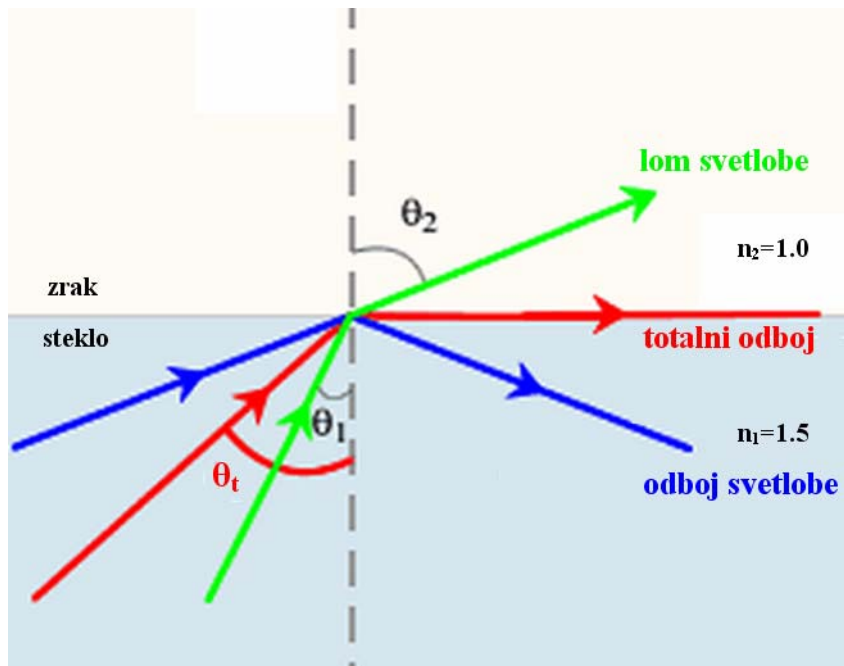
$$n_1 \cdot \sin \theta_1 = n_2 \cdot \sin \theta_2.$$

Za  $\theta_1 = \theta_t$  in  $\theta_2 = 90^\circ$  dobimo:  $n_1 \cdot \sin \theta_t = n_2 \cdot \sin 90^\circ = n_2$ .

Enačbo preuredimo in dobimo 
$$\sin \theta_t = \frac{n_2}{n_1} \quad (3.5)$$

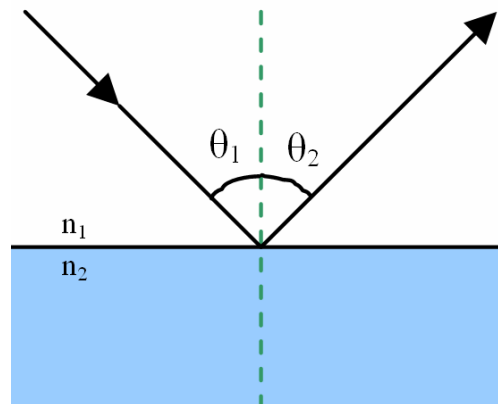
Sinus kota je manjši od 1, torej mora biti  $n_2$  manjši od  $n_1$ , žarek mora prehajati v optično redkejšo snov.

Svetloba se na meji totalno odbije, če prehaja iz optično gostejše snovi v optično redkejšo. Pri prehodu svetlobe iz stekla ( $n_1 = 1,50$ ) v zrak ( $n_2 = 1,00$ ) je kot totalnega odboja  $41,8^\circ$ .



Slika 19: Prikaz loma svetlobe (zelena), odboja svetlobe (modra) in mejnega primera – totalni odboj (rdeča) (<http://www.fiberoptics4sale.com>, 2009).

Če pade vpadni žarek na mejno ploskev pod večjim kotom kot je kot totalnega odboja  $\theta_1 > \theta_t$ , pride do odboja svetlobnega žarka. Po odbojnem zakonu velja, da je vpadni kot enak odbojnemu:  $\theta_1 = \theta_2$ .



Slika 20: Prikaz odbojnega zakona.

### **3.4.2 Zgradba slikovnih senzorjev**

Poznamo slikovne senzorje tipa CCD (angl. Charge Coupled Devices) in CMOS (angl. Complementary Metal Oxide Semiconductors), oboji so sestavljeni iz polprevodniškega materiala, ki je občutljiv na svetlobo (www.en.wikipedia.org, 2009). Digitalna podoba je sestavljena iz majhnih slikovnih elementov, ki jih imenujemo piksli. Tudi slikovni senzorji so sestavljeni iz majhnih elementov, imenovanih fotodiode. Njihovi osnovni gradniki so naprave za shranjevanje električnega naboja, to so kondenzatorji. Napetost na kondenzatorju se ustvari, ko pride do stika občutljivega polprevodniškega materiala s fotoni, ki povzročijo premik prostih elektronov iz valenčnega v prevodni pas. Naloga slikovnih senzorjev je pretvorba svetlobnega signala v električnega. Pretvorba je premosorazmerna, večja kot je intenziteta vpadne svetlobe, večja napetost se ustvari na kondenzatorju.

### **3.4.3 Zgradba atoma**

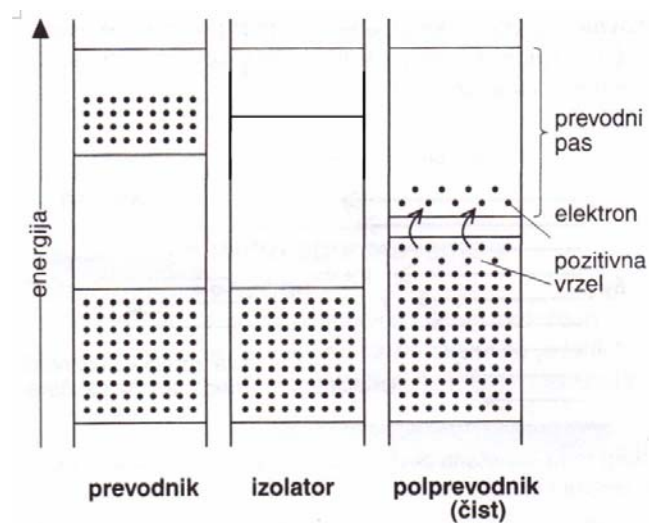
Atom sestavlja atomsko jedro in elektroni, ki se gibljejo okoli jedra in tvorijo elektronsko ovojnico (www.sl.wikipedia.org, 2009). Jedro je sestavljeno iz protonov in nevtronov, ki jih s skupnim imenom imenujemo nukleoni. Atomi istega elementa imajo enako število protonov in elektronov. Število protonov oziroma elektronov določa kemijsko naravo elementa. Enako je atomskemu številu, ki ga označimo s simbolom  $Z$ . Vsota števila protonov in nevtronov v jedru atoma je enaka masnemu številu. Atomi istega elementa, ki se med seboj razlikujejo po številu nevtronov, se imenujejo izotopi. Elementi so v naravi lahko razširjeni v obliki različnih izotopov. Protoni v jedru nosijo po en pozitivni osnovni naboj, nevtroni pa so nenabiti in električno nevtralni. Število pozitivnih osnovnih nabojev v jedru je enako številu negativnih elektronov v elektronski obojnici, zato so navzven atomi električno nevtralni. Nevtroni so pomembni predvsem zaradi prispevanja k masi atoma. Nevtron: 1 masa, proton: 1 masa, elektron: 1/2000 mase. Ker ima elektron tako zelo majhno maso, njegovo maso zanemarimo in rečemo, da je nima, kar pa v resnici ni čisto res. Atom je električno nevtralen, ker ima enako število pozitivnih protonov v jedru kot negativnih elektronov v elektronski obojnici. Če atom izgubi ali sprejme enega ali več elektronov, se ravnotežje med pozitivnimi in negativnimi naboji poruši in atom postane električno nabit. Električno nabite atome ali

atomske skupine imenujemo ioni. Pozitivno nabite ione imenujemo kationi, negativne pa anioni, ki so veliki približno en nanometer.

#### **3.4.4 Polprevodniki**

Snovi glede na električno prevodnost delimo na izolatorje in prevodnike (Kladnik, 1971). Izolatorji slabo prevajajo električni tok, kar pomeni, da se elektroni v izolatorjih kljub vplivu zunanjega električnega polja ne morejo premeščati v nove položaje. Prevodniki dobro prevajajo elektriko, nosilci naboja v njih imajo dovolj prostora, da se premikajo in pospešujejo. Med najboljše prevodnike spadajo kovine, ki vsebujejo oblak prostih elektronov. Med izolatorji in prevodniki so polprevodniki, ki so pri skrajno nizkih temperaturah dobri izolatorji, pri višjih temperaturah pa prevajajo električni tok.

Različna električna prevodnost kovin, polprevodnikov in izolatorjev se kaže v različni strukturi energijskih stanj elektronov v snovi. V trdni snovi so atomi medsebojno povezani preko zunanjih (valenčnih) elektronov. Elektroni sosednjih atomov vplivajo drug na drugega, so nekako povezani. Povezujejo se predvsem zunanji elektroni, medtem ko elektroni iz nižjih lupin praktično ne sodelujejo pri povezavi atomov. Povezovanje elektronov poveča število energijskih stanj, ki so na razpolago posameznim elektronom v trdni snovi; povečanje se izrazi predvsem pri višjih energijskih stanjih. Posledica medsebojne povezave atomov v trdno snov je, da se energijske lupine atomskih elektronov razširijo v energijske pasove, ki lahko prejmejo veliko elektronov. Nižje energijske pasove ločujejo prepovedani pasovi; to so energijska območja, ki jih elektroni ne morejo zasedati. Prepovedanih pasov pri višjih energijskih pasovih skorajda ni; višji energijski pasovi se prepletajo.



Slika 21: Energijski pasovi prevodnika, izolatorja in polprevodnika (Pople, 2007)

Fizikalne in kemijske lastnosti snovi so odvisne od tega, kako so zunanji energijski pasovi zasedeni z elektroni. Če je zunanji energijski pas le nekoliko zaseden, se elektroni v njem lahko premeščajo z enega energijskega stanja v drugo. Tak energijski pas imenujemo prevodni pas; elektroni iz prevodnega pasu se imenujejo prevodni elektroni. Zunanji energijski pas, ki je skoraj popolnoma zaseden z valenčnimi elektroni, ki povezujejo sosednje atome, se imenuje valenčni pas. Snov s praznim prevodnim in polnim valenčnim pasom je neprevodnik ali izolator. Prevodni pas leži nad valenčnim pasom. Kovine, izolatorji in polprevodniki se razlikujejo predvsem glede razmika med valenčnim in prevodnim pasom ter glede zasedenosti teh pasov.

Za kovine je značilno, da se zunanji elektroni nahajajo v prevodnem pasu, v katerem se pod vplivom zunanje električne polja lahko premeščajo. Zunanji energijski pas kovin je le deloma zaseden z elektroni. Kovine so zato dobri prevodniki električnega toka.

Pri izolatorjih je valenčni pas popolnoma zaseden, prevodni pas pa prazen. Širina prepovedanega pasu med valenčnim in prevodnim pasom je razmeroma velika, na primer 5 eV. Elektroni iz valenčnega pasu se ne morejo premikati, ker so vsa energijska stanja v pasu zasedena, prevodni pas pa je previsoko, da bi lahko skočili vanj. Izolatorji zaradi tega ne morejo prevajati elektrike.



Polprevodnik se razlikuje od izolatorja v tem, da sta prevodni in valenčni pas bliže drug drugemu, na primer 1 eV. Pri absolutni ničli polprevodnik ne prevaja elektrike; valenčni pas je poln, prevodni pa prazen. Segrevanje polprevodnika omogoči, da nekateri elektroni iz valenčnega pasu preskočijo v prevodni pas. Segret polprevodnik prevaja električni tok, električna prevodnost polprevodnika narašča s temperaturo. Pri temperaturi 100 do 150 °C pride do preboja – upor polprevodnika močno pade, zaradi česar tok močno naraste. Polprevodniški elementi se pri pregrevanju lahko uničijo (Pople, 2007).

Električne lastnosti polprevodnika se močno spremenijo, če polprevodniku dodamo primesi. Zaradi sodelovanja med atomi primesi in atomi polprevodnika se v prepovedanem pasu lahko pojavijo energijska stanja. Pomembne so primesi, ki namestijo energijska stanja tik pod prazni prevodni pas polprevodnika in jih zasedejo elektroni, ali ki namestijo prazna energijska stanja tik nad polni valenčni pas.

V prvem primeru imajo atomi primesi več valenčnih elektronov kot atomi polprevodnika, na primer 5-valentna primes fosforja v 4-valentnem siliciju. Odvečni elektroni so šibko vezani na atome primesi, zato že termično gibanje pri običajnih temperaturah zadošča, da skočijo v prazni prevodni pas, kjer so skoraj prosti. Takšni vrsti polprevodnika pravimo polprevodnik tipa *n*. Primesi oziroma nečistoče prispevajo elektrone za prevodni pas.

Druga vrsta polprevodnika je polprevodnik tipa *p*. Atomi primesi imajo manj valenčnih elektronov kot atomi polprevodnika, na primer 3-valentna primes galija v 4-valentnem germaniju, zato radi sprejmejo elektrone iz polnega valenčnega pasu. V valenčnem pasu nastanejo prazna mesta, v katera se premeščajo drugi elektroni iz tega pasu. Premeščanje elektronov v neki smeri je ekvivalentno premikanju pozitivnih nabojev (elektronskih vrzeli) v nasprotni smeri.

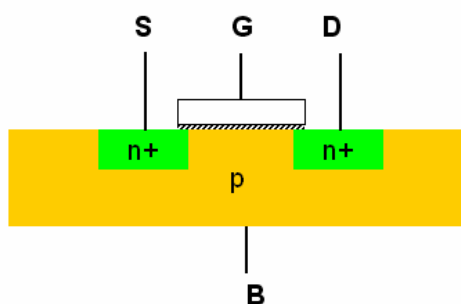
### 3.4.5 Tehnologija MOSFET

Osnovni gradnik digitalnih elektronskih vezij je tranzistor. Njegova vloga v digitalnih vezjih je največkrat vloga krmiljnega stikala: z enim signalom »preklapljamo«  
tranzistor, ki predstavlja stikalo za drug signal (<http://colos.fri.uni-lj.si/ERI/RACUNALNISTVO>, 2009). Prednosti tranzistorja so majhne dimenzije, hitrost, tihost, majhna poraba in možnost

integracije velikega števila tranzistorjev na majhnem prostoru. Tranzistor je izdelan iz polprevodnih snovi (silicij, germanij) z dodatki (Ga, As in drugih snovi). Odkritje tranzistorja in njegovega ojačevalnega učinka je pognalo razvoj polprevodniških elektronskih vezij v neslutene dimenzije. Najprej so bila to analogna vezja – na primer ojačevalniki signalov in podobna vezja. Kmalu pa je tranzistor dobil svoj pomen kot elektronsko stikalo, ki je osnovni gradnik za digitalna elektronska vezja. Posamezni tranzistorji so danes vgrajeni v značilna ohišja s tremi nožicami. Bistveni del tranzistorja predstavlja PN-spoj, ki je zelo majhen. Pri integriranih vezjih z mnogimi tranzistorji številna ohišja seveda niso potrebna. Na majhni površini čipa je lahko vgrajeno veliko število tranzistorjev. Posamezni tranzistorji se danes uporabljajo v elektroniki kot močnostni ojačevalni elementi ali kot stikala. Prvi tranzistor je bil zasnovan v tako imenovani bipolarni tehniki. Zanj je značilna velika hitrost preklopov, kar je bil ključni argument za vgradnjo v logična vezja. Slabost je večja poraba električnega toka za delovanje, tudi zgolj za vzdrževanje logičnega stanja. Sledile so izboljšane družine logičnih vezij z bipolarnimi tranzistorji.

Pomemben kvalitativni skok pa pomeni razvoj na področju unipolarnih tranzistorjev. Princip delovanja teh tranzistorjev je drugačen: z ustvarjanjem električnega polja spreminjamo prevodnost njegovega »glavnega« kanala. Oznaka FET (angl. Field Effect Transistor) pomeni tranzistor z učinkom polja, električnega namreč. Oznaka MOS (angl. Metal Oxide Semiconductor) predstavlja tanko plast kovinskega oksida v takšnem tranzistorju. Takšna plast je prikazana na sliki 22.

Na sliki je shematičen prikazan tranzistor MOSFET v prerezu.



Pomen oznak:

S - izvor (angl. source)

D - ponor (angl. drain)

G - vrata (angl. gate)

B - substrat, podlaga (angl. bulk)

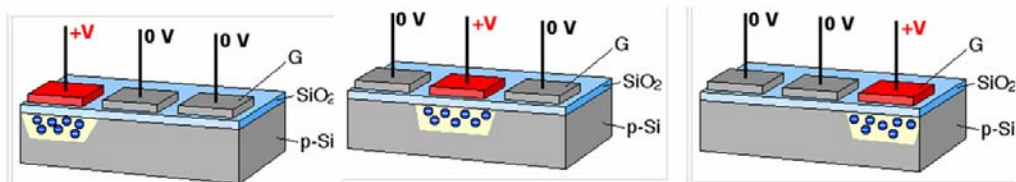
n+, p - silicij z različnimi vrstami primesi

Slika 22: Zgradba MOSFET tranzistorja – prerez ([http://colos.fri.uni-lj.si/ERI/RACUNALNISTVO/RAC\\_SLOJI/Tranzistor.html](http://colos.fri.uni-lj.si/ERI/RACUNALNISTVO/RAC_SLOJI/Tranzistor.html)).

Na osnovi (substratu) sta priključena kontakta S in D. Med njima električni tok ni možen, saj substrat sam ne prevaja. Vrata G so od substrata električno izolirana s tanko plastjo kovinskega oksida. Toda če na G pritismo električno napetost, se pod izolacijo ustvari prevodni "kanal" in tok med elektrodama S in D lahko steče. Tranzistor se torej vede kot stikalo, vrata pa služijo za krmiljenje. Velika omejitev začetnega obdobja sta bili hitrost in velika občutljivost na statične razelektritve. Današnja vezja z MOS tranzistorji imajo izboljšano odpornost na opisane motnje in izboljšano hitrost ter predvsem - dosti nižjo porabo energije za delovanje.

### 3.4.6 Slikovni senzorji CCD

Tehnologijo senzorjev CCD so iznašli leta 1967, avtorji Charles K. Kao, Willard S. Boyle in George E. Smith so za ta dosežek leta 2009 prejeli Nobelovo nagrado za fiziko (<http://nobelprize.org>, 2009). Senzorji tipa CCD so pravzaprav silicijevo integrirano vezje fotodiod. Sestavljeni so iz silikonskega substrata (polprevodnika tipa *p*), ki ga prekriva plast silicijevega oksida ( $\text{SiO}_2$ ), na katerem so nameščene elektrode (<http://en.wikipedia.org>, 2009). Elektrode so priključene na pozitivni priključek vira napetosti, kar povzroči nakopičenje elektronov, ki so nosilci električnega naboja, na stiku silikonskega substrata – silicijevega oksida pod elektrodami. Aktivni del senzorjev CCD, kjer so shranjeni elektroni, se imenuje kanal (angl. channel). Območje v substratu tipa *p* okoli kanala, ki je električno neaktivno, se imenuje zapora (angl. channel stop).



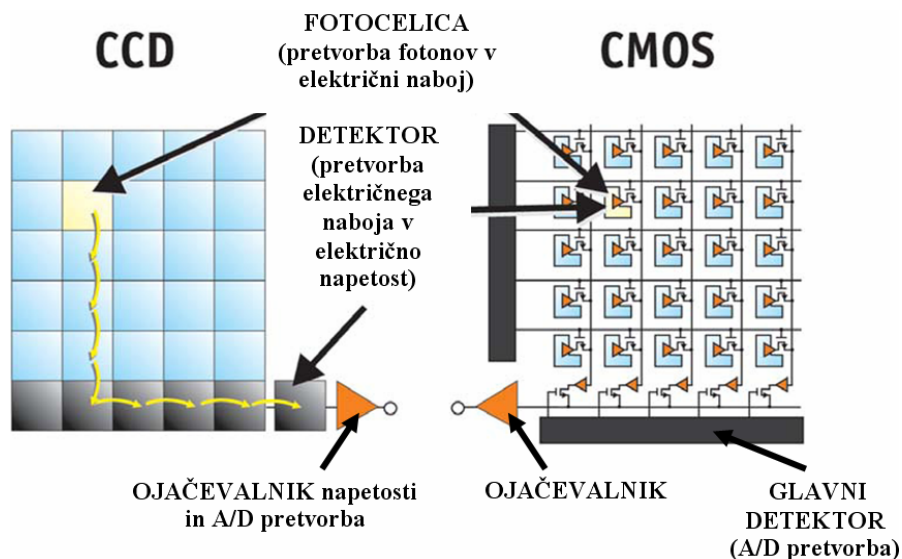
Slika 23: Prikaz delovanja senzorja CCD (<http://en.wikipedia.org>, 2009).

Glavna značilnost senzorjev CCD (angl. charge-coupled device) je, da se naboj v senzorju prenaša iz ene elektrode na drugo. To stanje se doseže z razlikami električnih potencialov zaporednih elektrod. V posameznem slikovnem elementu – pikslu – je shranjena vrednost dveh (dvofazni senzorji CCD) ali treh (trifazni senzorji CCD) elektrod, med katerimi obstaja

razlika potencialov, tako da ima prva elektroda najmanjši, druga večji in tretja (če obstaja) največji potencial. Vrednosti potencialov na sledečih dveh oziroma treh elektrodah se potem ponovijo. Tako ustvarimo pulzni prenos signala iz ene skupine elektrod na drugo. Signal, ki se prenaša preko velikega števila elektrod, ima majhne izgube in majhen šum.

### 3.4.7 Slikovni senzorji CMOS

Senzorji tipa CMOS so tako kot senzorji CCD sestavljeni iz silikonskega substrata in so podobno občutljivi za svetlobo. Obe vrsti senzorjev na enak način pretvarjata fotone v električni naboj, od tu naprej pa je delovanje senzorjev CMOS povsem različno od delovanja senzorjev CCD.



Slika 24: Razlika v sestavi in delovanju senzorja CCD in CMOS (<http://sl.wikipedia.org>).

Paketi nabojev se ne prenašajo preko vseh elementov do ojačevalca in detektorja, tako kot pri senzorjih CCD, ampak je vsaka fotodiode opremljena s svojim ojačevalcem in detektorjem. Tako se naboj prenese iz fotodiode neposredno na detektor, ki spremeni naboj v napetost, nato pa na ojačevalca, ki je sestavljen iz posebnih tranzistorjev CMOS. Senzorji CMOS imajo za vsak piksel svoj detektor in ojačevalca, potem se le-ti imenujejo aktivni slikovni senzorji (angl. active pixel sensor), ki imajo na posameznem pikslu vsaj tri tranzistorje. Iz

posameznega detektorja ne dobimo nabojev, ampak napetost, ki se nato prenese po stolpcih pikslov na glavni detektor, kjer se izvrši pretvorba napetosti v ustrezno binarno kodo. Signal v digitalni obliki se nato ojača in shrani v posameznem pikslu.

Obdelava je z uporabo tehnologije CMOS hitrejša kot z uporabo tehnologije CCD. Poraba energije je manjša v primerjavi s senzorji CCD. Senzor CMOS porabi za celoten proces samo tretjino energije senzorja CCD, za shranjevanje informacij porabi tretjino prostora, ki ga lahko za enako količino informacij potrebuje senzor CCD.

### 3.4.8 Napake CMOS slikovnih senzorjev

Enako kot pri slikovnih senzorjih CCD se tudi pri senzorjih CMOS pojavljajo šumi, ki so posledica pretvarjanja fotonov v električni naboj in šumi detektorjev (<http://www.dalsa.com/>, 2009). Pri senzorjih CMOS nimamo izgube zaradi prenosa naboja, ker se naboj na posamezni fotocelici takoj pretvori v električno napetost. Posledica so razni sistemski šumi, ki pa so ponavadi večji kot pri senzorjih CCD, vendar jih lažje odpravimo. Nekatere fotodiode pri senzorjih CMOS namreč ne sodelujejo pri nastanku podobe, ampak prejemajo le informacije o šumu. Sistem te informacije obdela tako, da je šum podobe minimalen.

Preglednica 2: Razlike v sestavi ter delovanju senzorjev CCD in CMOS (<http://www.dalsa.com/>, 2009).

<i>Lastnost senzorja</i>	<i>CCD</i>	<i>CMOS</i>
Izhodni signal iz piksla	Paket elektronov	Električna napetost
Izhodni signal iz detektorja	Analogen (električna napetost)	Digitalen (binarna koda)
Shranjena vrednost v slikovnem elementu	Binarna koda	Binarna koda
Šum sistema	Majhen	Srednji
Zapletenost sistema	Velika	Majhna
Zapletenost senzorja	Majhna	Velika
Občutljivost senzorja	Srednja	Malo boljša kot pri CCD
Hitrost delovanja sistema	Srednja do visoka	Višja
Poraba energije	Velika	Srednja

»se nadaljuje...«

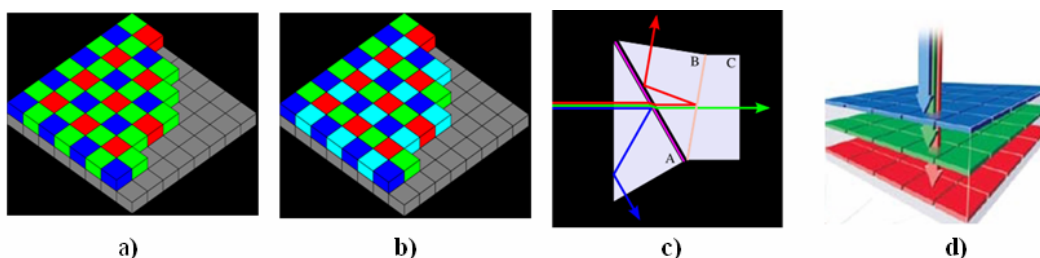
»...nadaljevanje«

Učinki delovanja	CCD	CMOS
Odzivnost	Srednja	Malo boljša ko pri CCD
Dinamičen razpon	Visok	Srednje velik
Enoličnost	Visoka	Nizka oziroma srednje velika
Anti - blooming	Razpon od visokega do nič	Visok

Za oba tipa senzorjev pa so skupne napake, ki izvirajo iz velikosti pikslov in njihovega števila v senzorju. Ta parametra sta povezana z občutljivostjo senzorja in šumom na sliki. Manjša kot je velikost pikslov, več jih lahko senzor vsebuje. Z manjšanjem velikosti piksla se manjša tudi količina fotonov, ki vpadejo na posamezni slikovni element, kar povzroči večje povečanje šuma. Večja velikost pikslov vodi v zmanjšanje šuma, skrajša pa se tudi čas osvetlitve. Pri povečanju velikosti pikslov pa se zmanjša optična ločljivost slike, kar zopet vodi v slabšo kvaliteto slike. Strokovnjaki ugotavljajo, da je najprimernejša velikost piksla med 6 in 9  $\mu\text{m}$ .

### 3.4.9 Nastanek barvne podobe

Slikovni elementi v senzorjih CCD so občutljivi le na jakost vpadne svetlobe, torej ne zaznavajo barv. Zato se uporabljajo barvni filtri, ki so postavljeni nad slikovnimi elementi in prepuščajo samo svetlobo določene valovne dolžine (<http://en.wikipedia.org>, 2009). Tribarvni oz. Bayerjev filter je sestavljen iz mozaika zelene, rdeče in modre barve, tako da štirje piksli filtrirajo eden modro, eden rdečo in dva zeleno barvo. Zelena barva prevladuje, ker je človeško oko najbolj občutljivo prav na to barvo. Štiribarvni filter vsebuje poleg zelene, modre in rdeče barve tudi ciansko modro barvo. Tako prekrije skupino štirih pikslov vsakega z drugo barvo. Z uporabo štiribarvnega filtra se zmanjšajo napake povezane z barvami in barve postanejo naravnejše.



Slika 25: Filtri a) tribarvni Bayerjev b) štiribarvni filter c) tristrana prizma d) tristopenjski slikovni senzor Foveon X3 (<http://en.wikipedia.org>, 2009).

Barvni filtri imajo poleg preproste uporabe tudi pomanjkljivost, saj posamezen piksel direktno sprejme le eno vrsto barve, ostale pa je potrebno pridobiti z interpolacijo barv iz sosednjih pikslov. Zato so kakovostne barvne kamere sestavljene iz trojnih senzorjev CCD, ki pridobijo barve s pomočjo posebne tristrane prizme postavljene nad senzorji CCD namesto barvnega filtra. Prizma razdeli vpadni žarek na rdečo, modro in zeleno svetlobo, tako da pade vsaka na posamezen senzor CCD. Tako kot pri senzorjih CCD so tudi pri senzorjih CMOS uporabljeni barvni filtri, pri katerih pa se srečamo s problemom interpolacije barv med piksli. Da je vsak piksel zmožen zajeti vse barve, nam omogoča slikovni senzor Foveon X3, ki je bil najprej uporabljen pri senzorjih CMOS. Zanj je značilno, da je silikonski substrat v posamezni fotodiodi razdeljen na tri plasti, zgornja absorbira modro, pod njo zeleno in spodnja plast rdečo barvo. Tako se glede na vrsto barve ustvarijo trije različni naboji na enem samem slikovnem elementu.

## **4 STROJNA IN PROGRAMSKA OPREMA INSTRUMENTA**

### **4.1 Sinhronizacija grafičnih podatkov in žive slike**

Z vgrajenim slikovnim senzorjem tipa CMOS v daljnogled tahimetra, se prikazujejo podobe, zajete pri opravljanju meritev na zaslonu TFT LCD (angl. thin-film technology liquid crystal display) instrumenta. Na zaslonu instrumenta je mogoče opazovati enako sliko kot skozi daljnogled instrumenta. Osveževanje zaslona mora biti tako hitro, kot je obračanje daljnogleda instrumenta, saj je le tako instrument uporaben v praksi. Instrument mora podatke o izmerjeni točki na terenu transformirati v koordinatni sistem zajete podobe za isto točko, nato mora grafične podatke pravilno prekriti na zajeto podobo in vse skupaj prikazati na zaslonu. Operater tako vidi na zaslonu izmerjene točke, lažje prepozna situacijo na terenu in se odloči, kako bo nadaljeval izmero. Zato je zelo pomembno, da se grafični in video podatki sinhrono izrisujejo na zaslonu ob pogoju, da vrtimo daljnogled okoli njegove osi (vertikalno in horizontalno). Tem obratom mora strojna in programska oprema instrumenta zadostiti, da lahko operater nemoteno opravlja svoje delo. Ta instrument omogoča, da zajete podobe za vsako točko shrani, za eno točko naredi podobo z zornim kotom  $28^\circ$  in podobo z zornim kotom  $1^\circ$  (30 kratna optična povečava), na ta način lahko te podatke uporabimo večkrat in za različne namene (Sakimura in Maruyama, 2007).

### **4.2 Strojna in programska oprema za obdelavo podob**

Zmožnost osvežitve podobe na slikovnem senzorju znaša  $1/20$  s (Sakimura in Maruyama, 2007). Hitrost izvajanja ukazov centralne procesne enote (sl. CPE, angl. CPU), ki je vgrajena v instrument, je 400 MHz. Centralna procesna enota izvaja vse potrebne operacije, obdeluje meritve in računa razdalje ter kote, ki jih merimo z instrumentom. Če bi centralna procesna enota instrumenta morala obdelovati tudi slikovne podatke skupaj s klasičnimi meritvami, instrument ne bi uspel prikazovati žive slike na zaslonu skupaj z grafičnimi podatki. Video kamera v instrumentu zajema podobo velikosti  $640 \times 480$  pikslov. Ker je velikost zajete podobe približno 1 MB, pomeni da bi centralna procesna enota morala obdelovati slikovne

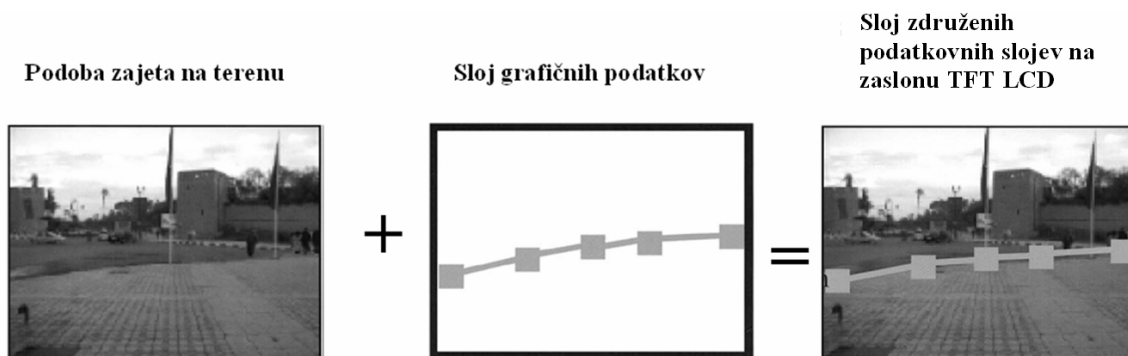


podatke in vse izračune, ki so potrebni za določitev položaja točk. Ob tem bi se hitrost vseh operacij tako zmanjšala, da instrument ne bi dovolj hitro osveževal zaslona in tako ne bi bil primeren za praktično uporabo.



Slika 26: Shematski prikaz rešitve problema s čipom za obdelavo podob (Sakimura in Maruyama, 2007).

Da bi rešili ta problem, so v instrument vgradili poseben čip (glej sliko 26), ki obdeluje podobe (Sakimura in Maruyama, 2007). Ta čip ima nalogo, da izvaja vse operacije v zvezi s kamero in zajeto podobo, zamenjuje centralno procesno enoto, ki opravlja meritve dolžin, kotov in izračun položaja novo izmerjenih točk. Čip opravlja naslednje funkcije in kontrolne ukaze: zajema podobe, spreminja zorni kot kamere, spreminja kontrast, s sliko sledi spreminjanju položaja daljnogleda in jo izrisuje na zaslonu.

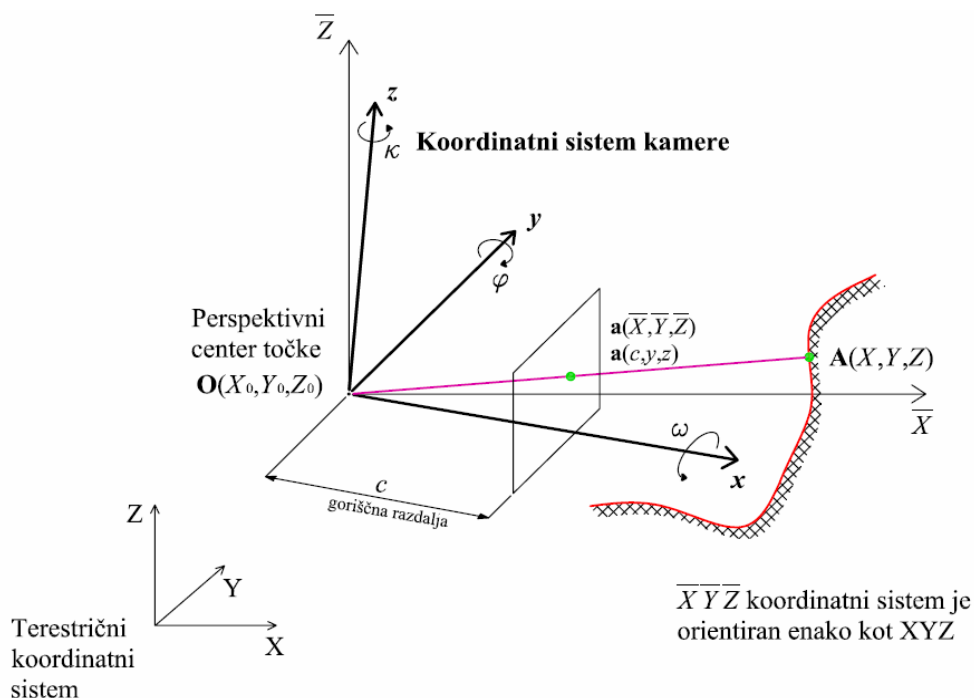


Slika 27: Poenostavljen prikaz delovanja čipa za obdelovanje in združevanje slikovnih in grafičnih podatkov (Sakimura in Maruyama, 2007).

Glavna naloga čipa pa je, da zajeto podobo in grafične podatke izriše v dva različna podatkovna sloja in oba skupaj izriše na zaslon. To naredi tako, da uporabi 25% površine slikovnega senzorja, ki se nahaja v njegovem centru. Nato izriše grafične podatke na zaslon, šele nato doda zmanjšano (25%) podobo na zaslon (glej sliko 29). Instrument s pomočjo čipa za obdelavo podob opravi združitev dveh podatkovnih slojev v času, ki je potreben, da potekajo meritve v realnem času (glej sliko 27).

### 4.3 Algoritem za prikazovanje grafičnih podatkov

Programska oprema, ki vsebuje ta algoritem služi prikazovanju podobe na zaslonu TFT LCD instrumenta v centralni projekciji. Pravilno prekrivanje grafičnih (izmerjenih točk, točk povezanih v linije) in slikovnih podatkov mora prav tako biti preračunano v centralni projekcijski model (Sakimura in Maruyama, 2007).



Slika 28: Kolinearost sistema, prikaz parametrov in členov transformacije med merskim terestričnim koordinatnim sistemom in koordinatnim sistemom kamere (Sakimura in Maruyama, 2007).

Koordinate točke A ( $X, Y, Z$ ) se nahajajo v terestričnem koordinatnem sistemu. Ista točka na podobi je označena z  $a$  in ima koordinate  $a(c, y, z)$  ter se nahaja v koordinatnem sistemu kamere pred rotacijo daljnogleda. Izhodišče koordinatnega sistema  $\overline{XYZ}$  je točka O. Koordinatni sistem  $\overline{XYZ}$  je vzporeden terestričnemu koordinatnemu sistemu XYZ. Koordinatni sistem kamere po rotaciji daljnogleda se zasuka za kote  $\kappa$  okoli osi  $\overline{Z}$ ,  $\varphi$  okoli osi  $\overline{Y}$  ter  $\omega$  okoli osi  $\overline{X}$ . Ker so koordinate točke  $a$  v koordinatnem sistemu XYZ, morale pa bi biti v koordinatnem sistemu  $\overline{XYZ}$ , algoritem izvede transformacijo med tema dvema koordinatnima sistemoma kot kažejo naslednje enačbe.

$$\begin{bmatrix} \overline{X} \\ \overline{Y} \\ \overline{Z} \end{bmatrix} = \mathbf{R}_\omega \mathbf{R}_\varphi \mathbf{R}_\kappa \begin{bmatrix} c \\ y \\ z \end{bmatrix} \quad (4.1)$$

kjer so  $\mathbf{R}_\omega \mathbf{R}_\varphi \mathbf{R}_\kappa$  rotacijske matrike in jih zapišemo kot:

$$\mathbf{R}_\omega = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & \cos \omega & \sin \omega \\ 0 & -\sin \omega & \cos \omega \end{bmatrix}$$

$$\mathbf{R}_\varphi = \begin{bmatrix} \cos \varphi & 0 & -\sin \varphi \\ 0 & 1 & 0 \\ -\sin \varphi & 0 & \cos \varphi \end{bmatrix}$$

$$\mathbf{R}_\kappa = \begin{bmatrix} \cos \kappa & \sin \kappa & 0 \\ -\sin \kappa & \cos \kappa & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (4.2)$$

Točke O,  $a$  in A (glej sliko 24), so na isti liniji in jih izrazimo z enačbo 4.3

$$OA = \lambda_A * Oa \quad (4.3)$$

kjer je  $\lambda_A$  faktor merila in je odvisen od lokacije točke A. Enačbo 4.3 lahko izrazimo na naslednji način:

$$\lambda_A = \frac{OA}{Oa} \quad (4.4)$$

Enačbo 4.3 lahko izrazimo v koordinatnem sistemu  $\overline{XYZ}$ :

$$OA \equiv \begin{bmatrix} X \\ Y \\ Z \end{bmatrix} - \begin{bmatrix} X_0 \\ Y_0 \\ Z_0 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} X - X_0 \\ Y - Y_0 \\ Z - Z_0 \end{bmatrix} \quad (4.5)$$

$$Oa \equiv \begin{bmatrix} \overline{X} \\ \overline{Y} \\ \overline{Z} \end{bmatrix} \quad (4.6)$$

Nato vstavimo enačbi 4.5 in 4.6 v enačbo 4.3.

$$\begin{bmatrix} X - X_0 \\ Y - Y_0 \\ Z - Z_0 \end{bmatrix} = \lambda_A \begin{bmatrix} \overline{X} \\ \overline{Y} \\ \overline{Z} \end{bmatrix} \quad (4.7)$$

Nato nadomestimo enačbo 4.1, dobimo:

$$\begin{bmatrix} X - X_0 \\ Y - Y_0 \\ Z - Z_0 \end{bmatrix} = \lambda_A \mathbf{R}_\omega \mathbf{R}_\phi \mathbf{R}_\kappa \begin{bmatrix} c \\ y \\ z \end{bmatrix} \quad (4.8)$$

Enačbo 4.8 lahko zapišemo kot:

$$\begin{bmatrix} c \\ y \\ z \end{bmatrix} = \frac{1}{\lambda_A} \mathbf{R}^T \begin{bmatrix} X - X_0 \\ Y - Y_0 \\ Z - Z_0 \end{bmatrix} \quad (4.9)$$

$\mathbf{R}^T$  se lahko zapiše tudi drugače:

$$\mathbf{R}^T = \begin{bmatrix} r_{11} & r_{12} & r_{13} \\ r_{21} & r_{22} & r_{23} \\ r_{31} & r_{32} & r_{33} \end{bmatrix} \quad (4.10)$$

Vstavimo enačbo 4.10 v enačbo 4.9 in dobimo:

$$\begin{bmatrix} c \\ y \\ z \end{bmatrix} = \frac{1}{\lambda_A} \begin{bmatrix} r_{11} & r_{12} & r_{13} \\ r_{21} & r_{22} & r_{23} \\ r_{31} & r_{32} & r_{33} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} X - X_0 \\ Y - Y_0 \\ Z - Z_0 \end{bmatrix} \quad (4.11)$$

Enačba 4.11 predstavlja kolinearne pogoje, z njeno razširitvijo dobimo naslednje:

$$\frac{y}{c} = \frac{r_{21}(X - X_0) + r_{22}(Y - Y_0) + r_{23}(Z - Z_0)}{r_{11}(X - X_0) + r_{12}(Y - Y_0) + r_{13}(Z - Z_0)} \quad (4.12)$$

$$\frac{z}{c} = \frac{r_{31}(X - X_0) + r_{32}(Y - Y_0) + r_{33}(Z - Z_0)}{r_{11}(X - X_0) + r_{12}(Y - Y_0) + r_{13}(Z - Z_0)}$$

Z uporabo enačbe 4.12 dobljene in izmerjene koordinate v terestričnem koordinatnem sistemu XYZ transformiramo v koordinatni sistem kamere  $cyz$ .

#### 4.4 Mehanizem rotacije tahimetra

Tahimeter ima edinstven sistem rotacije, da lahko zadosti zgornji transformaciji, kolinearnim zahtevam vseh koordinatnih sistemov (Sakimura in Maruyama, 2007). V tem podglavju bomo predstavili ta mehanizem, ki opravlja več funkcij hkrati. Na sliki 24 je predstavljeno, da je projekcijski center točke O poravnan s centrom nitnega križa v daljnogledu tahimetra. Rotacija daljnogleda v horizontalnem smislu je označena kot rotacija  $\kappa$  – predstavlja rotacijo okoli tahimetrove osi  $z$ , rotacijo daljnogleda v vertikalni smeri predstavlja rotacija  $\varphi$  – predstavlja rotacijo okoli tahimetrove osi  $y$ , ti dve rotaciji skupaj predstavljata rotacijo koordinatnega sistema kamere oziroma daljnogleda. Rotacija  $\omega$ , to je rotacija okoli osi  $x$ , v mehanizmih geodetskih instrumentov ne obstaja, oziroma ni zaželena in je kako drugače eliminirana. To pomeni, da je os  $\bar{Z}$  merskega sistema tahimetra vedno vzporedna z gravitacijskim poljem Zemlje. Instrument vsebuje kompenzatorje, ki med izvajanjem izmere stalno preverjajo velikost kota  $\omega$ . Če ta preseže mejno vrednost, se meritev prekine in moramo ponovno horizontirati tahimeter. Tako dosežemo, da alhidadne libele vrhunijo.

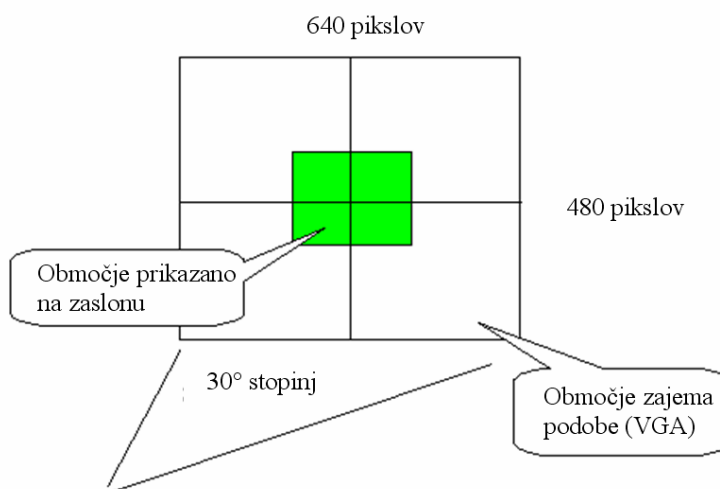
Iz tega razloga imajo tahimetri rotacijske parametre le za os  $\bar{Y}$  (vertikalni kot) in  $\bar{Z}$  (horizontalni kot). Zato v zgornjih enačbah uporabljamo le rotacijske matrike  $\mathbf{R}_\varphi$  in  $\mathbf{R}_\kappa$ . S poenostavitvijo enačbe 4.10 bo rotacijska matrika naslednja:

$$\mathbf{R}^T = \begin{bmatrix} \cos \varphi \cos \kappa & \cos \omega \sin \kappa & -\sin \varphi \\ -\sin \kappa & \cos \kappa & 0 \\ \sin \varphi \cos \kappa & \sin \varphi \sin \kappa & \cos \varphi \end{bmatrix} \quad (4.13)$$

kjer je  $\kappa$  horizontalni kot,  $\varphi$  vertikalni kot merskega sistema tahimetra.

#### 4.5 Vzporedni večkratni podatkovni procesi

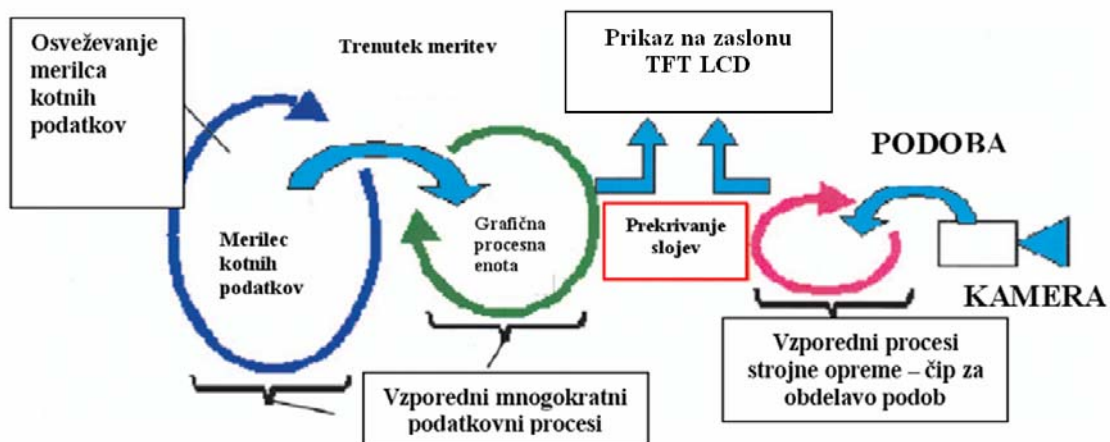
Ko poznamo strojno opremo in algoritem izračuna grafičnih podatkov instrumenta, poznamo tudi programsko opremo celotnega postopka združevanja podatkovnih slojev. Imamo veliko količino slikovnih in grafičnih podatkov, ki jih je potrebno prikazati na zaslon instrumenta, obenem pa zmanjšati čas prikaza oziroma osveževanja zaslona z združenimi podatkovnimi sloji. Za ta namen so v instrument vgradili vzporedne večkratne podatkovne procese (angl. multiple data thread process). V tej metodi so znotraj programske opreme vgradili večkratno procesno enoto, ki procesira zbrane podatke v vzporedno obliko. Ta osvežuje sliko med vrtenjem daljnogleda okoli osi  $\bar{Y}$  in  $\bar{Z}$  tahimetra, tako da dodaja pravilne grafične podatke na osvežen zaslon instrumenta (Sakimura in Maruyama, 2007).



Slika 29: Slika prikazuje funkcijo zaslona QVGA, na zaslonu se prikazuje le 25% podatkov zajetih na senzorju CMOS (Topcon Reference Manual, 2006b).

To naredi tako, da obdeluje dvoje podatkov, kotne podatke in grafične podatke. Prvi so podatki o trenutnih kotih, ki jih izmeri na vertikalnem in horizontalnem krogu, te pretvori v kotne podatke. Ob trenutni spremembi položaja daljnogleda se za enako kotno vrednost

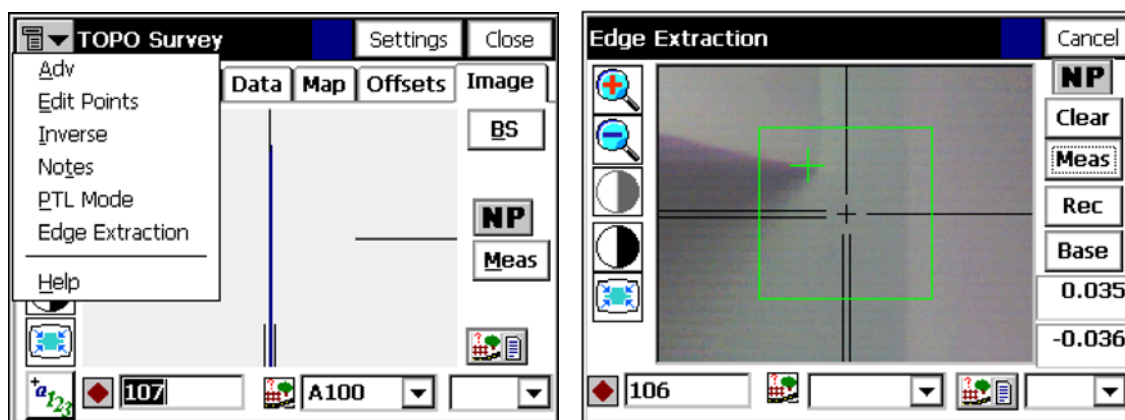
spremenijo tudi grafični podatki na zaslonu instrumenta. Zato se za vsako spremembo kotnih podatkov (rotacije daljnogleda okoli katerekoli osi), spremenijo tudi grafični podatki na zaslonu, ta operacija se mora izvajati čimbolj hitro in sinhrono. Instrument izvaja meritve kotnih podatkov vsakih 80 ms (približni podatek). Takoj ko je merjenje končano in so zaznane spremembe, te podatke uporabi grafična procesna enota. Ta s pomočjo kotnih podatkov opravi proces transformacije koordinatnih sistemov, da zadosti pogoju kolinearnosti. Nato uporabi grafične podatke in jih izriše na zaslon instrumenta. Potem čip za obdelavo podob združi grafične in slikovne podatke v celoto in jo prikaže na zaslonu. Opisani postopki procesiranja in izrisovanja grafičnih podatkov trajajo od 20 – 80 ms, odvisno od količine grafičnih podatkov, ki morajo biti procesirani. S pomočjo večkratnih podatkovnih procesov so lahko grafični in kotni podatki osveženi v 80 ms, kar pa predstavlja dokaj hiter odzivni čas in hkrati možnost uporabe instrumenta v praksi.



Slika 30: Shematski prikaz vzorednega večkratnega podatkovnega procesorja in čipa za obdelavo podob (Sakimura in Maruyama, 2007).

## 4.6 Izločanje roba

Izločanje roba je bilo prvič vgrajeno v obravnavani instrument Topcon GPT-7000i (Sakimura, 2009). Ta funkcija se uporablja v novejših Topconovih instrumentih, kjer ob avtomatizaciji instrumenta dobi izrazito uporabno vrednost (Topcon Reference Manual, 2006c). Funkcija instrumentu omogoča, da izloči rob na podobi ter shrani koordinate prepoznane roba. Instrument ima v programu za merjenje TopSURV poseben podprogram »edge extraction«, ki deluje samo v teleskopskem pogledu kamere. Ko sprožimo meritev, instrument zamrzne sliko in izmeri razdaljo do opazovane točke. Rezultat meritve je razdalja do opazovane točke ter zaznani rob, prikazan na zaslonu instrumenta. Kot je vidno na sliki 31, je zeleni križec prikazan na podobi v dejanskem času izmere. Odmik med izmerjeno točko (center zaslona) in zaznanim robom (+) je napisan v spodnjem desnem kotu zaslona instrumenta. Zgornja številka predstavlja vertikalni odmik, spodnja številka predstavlja horizontalni odmik. Pozitivna števila so orientirana navzgor in na desno, razdalje so v enotah metrov. Robovi se lahko izberejo tudi ročno, meritev zaključimo s tipko [Rec], tako se shranijo koordinate izbranega roba.



Slika 31: Slika prikazuje funkcijo »edge extraction«, desna slika prikazuje (+) in odmike nitnega križa (Topcon Reference Manual, 2006c).

Izločevanje robov poteka po Houghovi transformacijski tehniki, ta se uporablja pri analizi in procesiranju slik ter računalniškem vidu (<http://en.wikipedia.org>, 2009). Houghova



transformacija je tipičen primer algoritma za iskanje objektov na sliki. Houghova transformacija je robustna in zelo učinkovita pri iskanju poljubnih, toda vnaprej določenih oblik na sliki. Objekti, ki jih želimo zaznati, so predstavljeni kot parametrične krivulje. Osnovna ideja Houghove transformacije je preslikava med prostorom na sliki in parametričnim prostorom. Vsako točko, ki na sliki predstavlja rob nekega objekta, preslikamo v parametrični prostor tako, da v parametričnem prostoru označimo vse take točke, katerih parametri določajo krivuljo, ki gre skozi dano točko roba na sliki. Števce vseh točk v parametričnem prostoru, ki ustrezajo temu pogoju, povečamo. Ko na tak način preslikamo v parametrični prostor vse robne točke s slike, poiščemo lokalne maksimume v parametričnem prostoru. Točke, ki predstavljajo lokalne maksimume, določajo parametre ustreznih oblik, ki jih najdemo na sliki.

S to tehniko je mogoče odkriti nepopolno pojavljanje ravnih črt s tako imenovano metodo glasovanja (Zadnikar, 2009). Glasovanje se akumulira v koordinatnem sistemu, v katerem os  $x$  predstavlja kot  $\theta$  premice, os  $y$  pa razdaljo  $r$  premice od izhodišča. Iz koordinatnega sistema ali Houghovega akumulacijskega prostora se na koncu glasovanja prebere parametre premic z največjim številom glasov.

Naj ima točka v ravnini koordinate  $(x_0, y_0)$ . Premica, ki potuje skozi to točko, ima podan parameter  $\theta$ , zato lahko izračunamo parameter  $r$  z enačbo

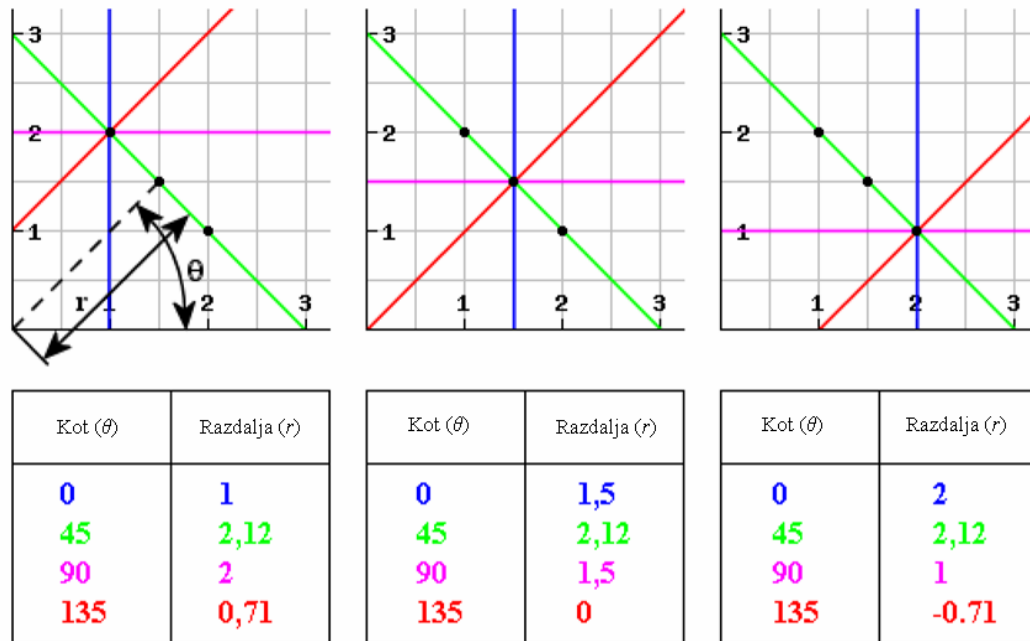
$$r(\theta) = x_0 * \cos \theta + y_0 * \sin \theta \quad (4.14)$$

Enačba ustreza sinusni krivulji v ravnini  $(r, \theta)$ . Ta krivulja pripada točki  $(x_0, y_0)$  in parametroma  $(r, \theta)$  vseh možnih premic skozi to točko. Točke, ki v kartezičnem koordinatnem sistemu tvorijo ravno črto, bodo v ravnini  $(r, \theta)$  tvorile sinusne krivulje. Te se bodo sekale v točki, ki predstavlja parametre premice – nosilke ravne črte v kartezičnem koordinatnem sistemu.

Premico z dobljenima parametroma  $\theta$  in  $r$  lahko zapišemo z enačbo:

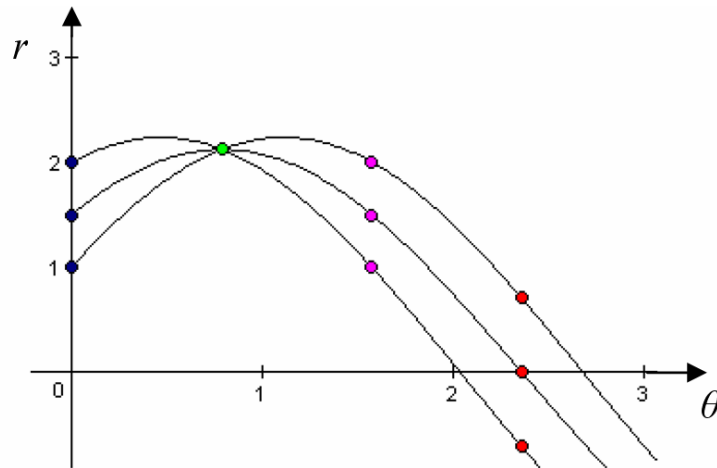
$$y = \left( -\frac{\cos \theta}{\sin \theta} \right) x + \left( \frac{r}{\sin \theta} \right) \quad (4.15)$$

Postopek izvajanja Houghove transformacije je sledeč (Zadnikar, 2009):



Slika 32: Primer računanja parametrov premice na točki (Zadnikar, 2009).

- v vsaki točki se določi parameter  $\theta$  ter izračuna parameter  $r$  za končno množico premic, ki gredo skozi to točko. Kot  $\theta$  se za vsako premico poveča, običajno teče od  $0^\circ$  do  $180^\circ$  s primerno majhnim korakom.
- v Houghov akumulacijski prostor se vpiše oba parametra vsake izračunane premice. Vodoravna os predstavlja parameter  $\theta$ , navpična os pa parameter  $r$ .
- Po končanem glasovanju s Houghovega akumulacijskega prostora preberemo parametre tistih točk, ki so dobile največ glasov. Ti parametri so parametri najdenih premic – nosilk ravnih črt.



Slika 33: Rezultat glasovanja v Houghovem akumulacijskem prostoru (Zadnikar, 2009).

V predstavljenem primeru se je največ glasov akumuliralo v zeleni točki, ki s svojima koordinatama ustreza premici:

$$y = \frac{2,12 - x * \cos(45^\circ)}{\sin(45^\circ)} \quad (4.16)$$

Program TopSURV, ki je nameščen na instrumentu, izračuna dve najbolj verjetni liniji (premici) po metodi Houghove transformacije (Sakimura, 2009). Za izračun po tej metodi je potrebno digitalno podobo pretvoriti iz RGB (angl. red green blue) v črno-belo podobo. Ko program po tej metodi dobi dve liniji, izračuna presečišče teh linij in tako dobimo koordinate tega presečišča, ki predstavlja najverjetnejši rob v naravi. Presečišče na zaslonu predstavlja zelen križ (+). Program ponavadi ne more določiti roba na podobi, ki je zamegljena, kjer je slaba vidljivost linij oziroma kjer so preveč komplicirane oblike na obravnavani podobi.

## 5 PRAKTIČNI PREIZKUS

### 5.1 Preizkus merjenja klasično – viziranje skozi okular daljnogleda ter s pomočjo zaslona instrumenta

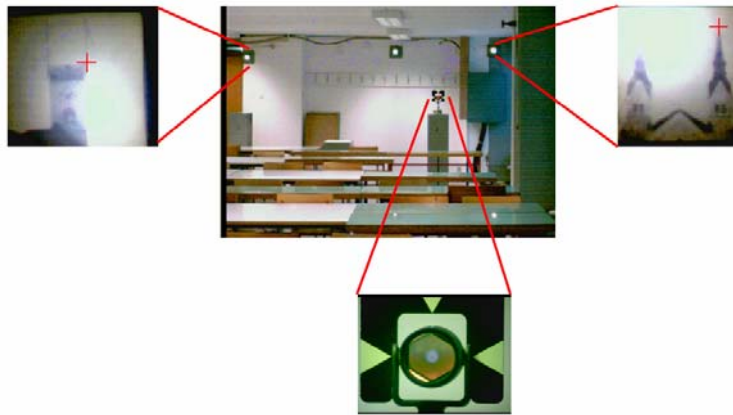
Instrument Topcon GPT-7003i omogoča klasično viziranje skozi okular daljnogleda. Prav tako omogoča tudi tako imenovano viziranje samo s pomočjo zaslona instrumenta. Namen preizkusa je preveriti zmožnosti viziranja detajla klasično skozi okular ter s pomočjo zaslona. Za preizkus smo uporabili girusno metodo merjenja horizontalnih smeri in zenitnih razdalj. Z girusno metodo opazujemo smeri in ne merimo kotov direktno. Kote dobimo z razliko smeri. Koti so med seboj odvisni. Izbrali smo si začetno smer, to je najprimernejša smer, ki je tudi najbolj definirana. Začetna smer mora biti dobro vidna, stabilna in dovolj oddaljena (Ambrožič, 2003/2004). Postopek merjenja po girusni metodi je naslednji. V prvem polgirusu najprej naviziramo začetno smer ter naravnamo odčitek na horizontalnem krogu okoli  $0^\circ$ . Odčitamo in registriramo odčitek  $a_1^I$ . Nato opazujemo točke v smeri ure do zadnje točke. (Po končani izmeri polgirusa ponovno naviziramo začetno točko, s tem preverimo stabilnost stativa in instrumenta). Nato obrnemo tahimeter v II. krožno lego in začnemo merjenje v drugem polgirusu, smeri opazujemo proti urno. Takoj po zaključenem girusu opravimo kontrolo  $2c^*$ . Med opazovanjem smeri moramo opazovati stanje libel. Ne smemo popravljati naravnosti libel. Horizontiranje lahko popravimo šele med dvema girusoma, iz tega sledi, da moramo izmeriti girus čim hitreje. Rezultat girusne metode so reducirane smeri, ki so med seboj mersko odvisne vrednosti. Vse smeri se nanašajo na začetno smer, zato so obremenjene s pogreškom začetne smeri, ki ga upoštevamo pri oceni natančnosti smeri.

---

\*  $2c$  je dvojni kolimacijski pogrešek (instrumentalni pogrešek), predstavlja nepravokotnost osi  $y$  in  $x$ . Pogrešek je najmanjši pri horizontalni vizuri, pogrešek je enak za pozitivne in negativne vertikalne kote, narašča z naraščanjem vertikalnega kota. Če sta točki na isti zenitni razdalji  $z_1=z_2$ ,  $c$  ne vpliva na razliko dveh smeri. Dvojni kolimacijski pogrešek eliminiramo z merjenjem v obeh krožnih legah.

### 5.1.1 Testno polje 1 – zimske vaje

Za preizkus smo določili tri testna polja. Najprej smo merili v prostoru za izvajanje zimskih vaj, kjer so bile razdalje med instrumentom in signali približno 15 m. Signali so bili, osvetljena stenska signala gradu in cerkve ter prizma, ki je bila nameščena na steber. Najprej smo opravili meritve treh girusov s klasičnim viziranjem skozi okular instrumenta v 8 minutah, nato tri giruse z viziranjem s pomočjo zaslona instrumenta, za kar smo potrebovali 22 minut.



Slika 34: Prikaz testnega polja 1 – zimske vaje ter uporabljenih signalov.

Pri viziranju s pomočjo zaslona smo naleteli na težavo prekomerno osvetljenih signalov. Pomagali smo si z zmanjšanjem osvetlitve slikovnega senzorja, ki je nameščen v daljnogled instrumenta, vendar smo imeli težave tudi z njegovim uravnavanjem. Ker ti signali ne predstavljajo običajnih terenskih pogojev, smo zanemarili dolgo časovno izvedbo izmere na tem testnem polju. Rezultate meritev v celoti podajamo v prilogi A, pomembne rezultate pa v preglednici 3.

Preglednica 3: Reducirane sredine girusov merjenih horizontalnih smeri in sredine zenitnih razdalj ter odstopanja za testno polje 1 – zimske vaje.

Testno polje 1 – zimske vaje	Sredine girusov reduciranih horizontalnih smeri			Sredine zenitnih razdalj		
	klasično	zaslon	odstop.	klasično	zaslon	odstop.
<b>smer na</b>						
<b>Signal gradu</b>	0°00'00"	0°00'00"	/	87°31'21"	87°31'18"	3"
<b>prizma</b>	11°32'16"	11°32'11"	5"	89°52'27"	89°52'31"	-4"
<b>Signal cerkve</b>	14°56'27"	14°56'26"	1"	86°57'02"	86°57'23"	-22"

Odstopanja sredin girusov reduciranih horizontalnih smeri, razvidna iz preglednice 3, se pojavijo zaradi kratkih razdalj. Odstopanja sredin zenitnih razdalj so se dodatno povečala zaradi problemov s prekomerno osvetljenimi signali (grad, cerkev) ter kontrastom zaslona instrumenta. Pogoji v testnem polju 1 ne predstavljajo vsakodnevnih terenskih pogojev, vendar smo spoznali določene zakonitosti in težave pri merjenju na kratke razdalje.

### 5.1.2 Testno polje 2 – park

Za drugo testno polje smo izbrali park v bližini fakultete. Instrument je bil oddaljen od prizem približno 100 m. Za signale smo uporabili tri prizme na podnožjih, ki smo jih prisilno centriralni in horizontirali na stativih. Meritve smo izvajali prav tako v treh girusih z viziranjem skozi okular daljnogleda ter v treh girusih samo s pomočjo zaslona. Za izmero treh girusov klasično smo potrebovali 10 minut. Za izmero s pomočjo zaslona pa smo potrebovali 14 minut, vendar je bilo ozadje prizem temno in je oteževalo njihovo iskanje. Prizme so se nahajale na približno isti zenitni razdalji in oddaljenosti, tako tudi ni bilo veliko težav s fokusiranjem posameznih prizem.



Slika 35: Prikaz testnega polja 2 – park (širokokotni pogled) in treh prizem (podoba, zajeta s pomočjo senzorcija v daljnogledu instrumenta).

Naj povemo še eno lastnost merjenja z instrumentom. Pri viziranju s pomočjo zaslona (slikovni senzor nameščen v daljnogled instrumenta) moramo ročno izostriti sliko, kot da bi izvajali meritve skozi okular daljnogleda instrumenta – klasično. Ko instrument registrira izmerjeno dolžino in odčitka na horizontalnem in vertikalnem krogu, zajame še širokokotno podobo izmerjene točke ter podobo iz slikovnega sensorja nameščenega v daljnogled instrumenta. Rezultate meritev v celoti podajamo v prilogi B, pomembne rezultate pa v preglednici 4.

Preglednica 4: Reducirane sredine girusov merjenih horizontalnih smeri in sredine girusov merjenih zenitnih razdalj ter odstopanja za testno polje 2 – park.

Testno polje 2 – park	Sredine girusov reduciranih horizontalnih smeri			Sredine zenitnih razdalj		
	klasično	zaslon	odstop.	klasično	zaslon	odstop.
smer na prizma 1	0°00'00"	0°00'00"	/	90°05'52"	90°05'54"	2"
prizma 2	9°05'15"	9°05'13"	2"	90°03'48"	90°03'47"	1"
prizma 3	16°11'13"	16°11'12"	1"	90°03'19"	90°03'22"	-3"

Odstopanja sredin girusov reduciranih horizontalnih smeri so presenetljivo majhna. Testno polje 2 je najboljši približek vsakodnevnega dela z instrumentom. Majhna odstopanja pri horizontalnih smereh z viziranjem skozi okular daljnogleda in z viziranjem s pomočjo zaslona ter malo večja odstopanja pri zenitnih razdaljah nam omogočajo dobro določitev 3R koordinat merjene točke z viziranjem s pomočjo zaslona.

### 5.1.3 Testno polje 3 – streha fakultete

Na testnem polju 3, na strehi fakultete, smo izvajali meritve samo horizontalnih in zenitnih razdalj, saj merjenje dolžin do teh signalov ni bilo možno (zaradi predolgih dolžin). Instrument smo centriral in horizontirali na stebri na strehi fakultete. Za signale smo si izbrali anteno nebotičnika, zastavo na gradu ter desni zvonik Trnovske cerkve. Izvajali smo meritve v treh girusih s klasičnim viziranjem skozi okular daljnogleda na prej omenjene signale in sicer v 10 minutah. Meritve treh girusov z viziranjem s pomočjo zaslona na te signale so trajale 16 minut.

Meritve na strehi fakultete smo opravili dvakrat in sicer enkrat proti večeru ter drugič sredi dneva. V obeh primerih so se pojavile težave, saj se proti večeru zmanjša osvetljenost signalov. Tako slikovni senzor prejme manj svetlobe, zato je oteženo iskanje in viziranje signalov s pomočjo zaslona. Merjenje sredi dneva ob sončnem vremenu pa povzroča težave tako pri klasičnem viziranju kot pri viziranju preko zaslona.



Slika 36: Testno polje 3 – streha fakultete, podobe prikazujejo smeri proti signalom (širokokotni pogled - podnevi) ter posamezni signali posneti proti večeru.

V obeh primerih se pojavi migetanje ozračja, s tem je oteženo viziranje. Prav tako je problem viziranja na tanke antene s pomočjo zaslona, saj je diopter dokaj nenatančen, zorni kot slikovnega senzorja v daljnogledu pa majhen, osveževanje zaslona ni dovolj hitro. Rezultate meritev v celoti podajamo v prilogi C, pomembne rezultate pa v preglednici 5.



Preglednica 5: Reducirane sredine girusov merjenih horizontalnih smeri in sredine girusov merjenih zenitnih razdalj ter odstopanja za testno polje 3 – streha (oba dneva).

<b>Merjeno proti večeru</b>						
<b>Testno polje 3 – streha</b>	<b>Sredine girusov reduciranih horizontalnih smeri</b>			<b>Sredine zenitnih razdalj</b>		
<b>smer na</b>	<b>klasično</b>	<b>zaslon</b>	<b>odstop.</b>	<b>klasično</b>	<b>zaslon</b>	<b>odstop.</b>
<b>nebotičnik</b>	0°00'00"	0°00'00"	/	87°31'48"	87°31'54"	6"
<b>grad</b>	35°06'39"	35°06'41"	-2"	84°54'49"	84°54'46"	3"
<b>desni zvonik T. c.</b>	83°26'21"	83°26'22"	-1"	88°20'40"	88°20'45"	-5"
<b>Merjeno sredi dneva - sončno vreme</b>						
<b>Testno polje 3 – streha</b>	<b>Sredine girusov reduciranih horizontalnih smeri</b>			<b>Sredine zenitnih razdalj</b>		
<b>smer na</b>	<b>klasično</b>	<b>zaslon</b>	<b>odstop.</b>	<b>klasično</b>	<b>zaslon</b>	<b>odstop.</b>
<b>nebotičnik</b>	0°00'00"	0°00'00"	/	87°31'52"	87°31'52"	0"
<b>grad</b>	35°06'41"	35°06'47"	-6"	84°54'24"	84°54'23"	1"
<b>desni zvonik T. c.</b>	83°26'25"	83°26'27"	-2"	88°26'39"	88°20'41"	-2"

Iz preglednice 5 lahko zaključimo, da je merjenje horizontalnih smeri boljše v večernih urah. Večja odstopanja sredin girusov reduciranih horizontalnih smeri se sredi dneva (sončno vreme) pojavljajo zaradi migetanja ozračja, signale je težje vizirati z obema možnostima viziranja. Nekoliko večja odstopanja pri sredinah zenitnih razdalj se pojavijo zaradi težjega koincidiranja niti na posameznem signalu.

#### 5.1.4 Ugotovitve

Z rezultati preizkusa merjenja klasično – viziranje skozi okular daljnogleda ter s pomočjo zaslona instrumenta smo bili zadovoljni. Rezultati so nas prepričali, da bi lahko za meritve z instrumentom uporabili viziranje s pomočjo zaslona. Seveda bi morali izbrati teren, ki ni preveč zaraščen, razgiban. Prav tako je pomembno, da niso razdalje predolge ali prekratke in da je prizma v celoti dobro vidna. Pri viziranju s pomočjo zaslona na umetne signale gradu in cerkve na testnem polju 1 se je pojavil problem prekomerne osvetljenosti. Z gumbom za zmanjšanje osvetljenosti smo imeli probleme, saj je bilo zelo težko uravnati primerno osvetlitev slikovnega senzorja, nameščenega v daljnogled. Slikovni senzor je na optični osi daljnogleda instrumenta nameščen za fokusirnimi lečami, zato je potrebno pri viziranju s pomočjo zaslona ročno fokusirati. Obe obravnavani varianti viziranja motijo atmosferski pogoji – migetanje ozračja. Sončno vreme povzroča težave pri viziranju s pomočjo zaslona.

Zaslon se blešči in potemni, problem je kontrast in zmožnost operaterjevega prepoznavanja detajla na zaslonu. Pri viziranju ozkih, štrlečih in oddaljenih signalov kot so drogovi in antene je oteženo zaznavanje signala na zaslonu, saj osveževanje grafičnih podatkov ni dovolj hitro. Instrument ima nameščen prijazen in praktičen uporabniški vmesnik za izvajanje meritev, vnos kod in ostalih podatkov. Problem se pojavlja pri operacijskem sistemu, saj nepravilna uporaba funkcij in ukazov vodi v poškodbe datotek ter zrušitev programa za izvajanje meritev TopSURV. Instrument ima nameščen vmesnik za prenos podatkov iz (na) instrumenta, ki je prijazen Windows operacijskemu sistemu. Uporabniku prijazen pregledovalnik in urejevalnik rezultatov meritev TopLink omogoča pregled in obdelavo digitalnih podob posnetih detajlnih točk.

## **5.2 Preizkus določitve roba**

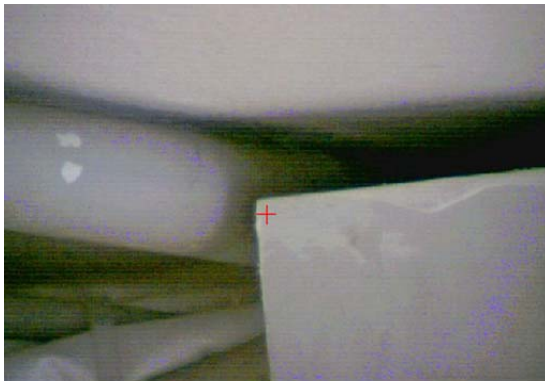
Preizkus določitve roba smo izvedli na testnih poljih neposredno po izvedbi preizkusa viziranja klasično skozi okular daljnogleda ter s pomočjo zaslona instrumenta. Preizkušali smo metodo določitve roba na različnih robovih, oddaljenostih, osvetljenosti, usmerjenosti odbojne površine merjenih razdalj. Preizkus smo izvedli na vseh treh (prej opisanih v 5.1.1, 5.1.2, 5.1.3) testnih poljih.

### **5.2.1 Preizkus določitve roba na testnem polju 1 – zimske vaje**

V preglednici 6 so prikazani rezultati preizkusa določitve roba programsko ter s pomočjo klasičnega viziranja. Na kratkih razdaljah in dobro vidnih robovih smo dobili zelo dobre rezultate. Večinoma so bile odbojne površine za merjenje razdalj enotne. Do odstopanj med posameznimi koordinatami ne pride zaradi nenatančnega merjenja horizontalnih smeri ali zenitnih razdalj temveč zaradi odstopanj merjenih dolžin. Odstopanja merjenih dolžin pa se pojavljajo tam, kjer odbojne površine za merjenje razdalj niso enotne. Slika 43 prikazuje tipični primer, kjer je napačno izbrana odbojna površina. Pri tem primeru smo napačno merili razdaljo, ko smo določali rob s pomočjo klasičnega viziranja. Slika 37 prikazuje dober primer določitve roba ter izbire odbojne ploskve za merjenje razdalj. Podatki meritev za primere na slikah 37 in 43 se nahajajo v preglednici 6, obarvano zeleno. Rezultate viziranja na testnem polju 1 podajamo v preglednici 6.

Preglednica 6: Rezultati meritev določitve roba programsko ter s pomočjo klasičnega viziranja skozi okular daljnogleda za testno polje 1 – zimske vaje.

Določitev roba programsko		Določitev roba s pomočjo klasičnega viziranja		Odstopanja po koordinatah (merjeno klasično – določitev roba programsko)			Odstopanja merjenih dolžin
Točka	Dolžina [m]	Točka	Dolžina [m]	$\Delta x$ [m]	$\Delta y$ [m]	$\Delta z$ [m]	$\Delta D$ [m]
4001	6,904	4002	6,905	0,000	0,000	-0,001	-0,001
4003	5,048	4004	5,052	0,001	-0,005	0,001	-0,004
4005	4,612	4006	4,611	0,001	0,001	-0,001	0,001
4008	14,559	4007	14,555	-0,003	-0,007	0,001	0,004
4010	15,034	4011	17,292	2,206	-0,466	0,125	-2,258
4012	7,797	4013	7,798	0,001	-0,001	0,000	-0,001
4014	15,027	4015	15,059	0,032	-0,003	-0,001	-0,032



4012



4013

Slika 37: Točka 4012 je bila merjena s programom določitev roba, točka 4013 je bila merjena s klasičnim viziranjem skozi okular daljnogleda.

### 5.2.2 Preizkus določitve roba na testnem polju 2 – park

V preglednici 7 so prikazani rezultati preizkusa določitve roba programsko ter s pomočjo klasičnega viziranja na testnem polju 2. Na kratkih razdaljah in dobro vidnih robovih smo dobili zelo dobre rezultate. Večinoma so bile odbojne površine za merjenje razdalj razgibane in neenotne. Dobre rezultate smo dobili tudi na daljših razdaljah, kjer je bila odbojna površina

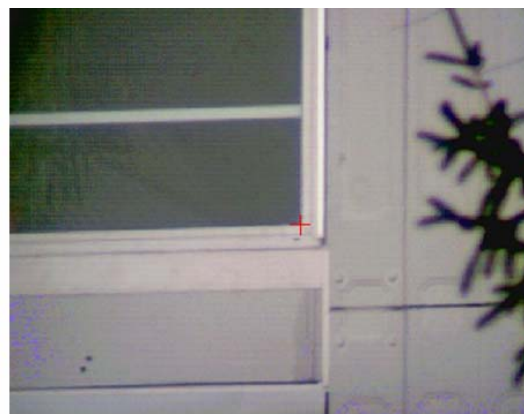
za merjenje razdalj enotna. Slika 38 predstavlja dobro določitev roba (merjena dolžina znaša 167,378 m). Pri primeru na sliki 39 pa se je zgodilo, da je bila odbojna površina za merjenje razdalj različna, zato pride do odstopanj merjenih dolžin za 12,587 m. Podatki meritev za primere na slikah 38, 39 in 42 se nahajajo v preglednici 7, obarvano zeleno.

Preglednica 7: Rezultati meritev določitve roba programsko ter s pomočjo klasičnega viziranja skozi okular daljnogleda za testno polje 2 – park.

Določitev roba programsko		Določitev roba s pomočjo klasičnega viziranja		Odstopanja po koordinatah (merjeno klasično – določitev roba programsko)			Odstopanja merjenih dolžin
Točka	Dolžina [m]	Točka	Dolžina [m]	$\Delta x$ [m]	$\Delta y$ [m]	$\Delta z$ [m]	$\Delta D$ [m]
4001	42,041	4002	42,034	-0,009	-0,007	0,016	0,007
4007	39,882	4008	39,878	-0,001	0,005	-0,017	0,004
4009	167,397	4010	167,378	0,016	0,003	0,004	0,019
4011	74,258	4012	74,293	0,028	-0,021	0,013	-0,035
4013	17,718	4014	17,72	0,002	-0,004	-0,001	-0,002
4016	21,304	4017	21,291	0,001	-0,013	-0,001	0,013
4018	41,271	4019	41,311	-0,015	-0,038	0,001	-0,040
4020	55,718	4021	43,131	9,466	-8,233	-1,020	12,587
4022	23,766	4023	23,762	0,005	-0,001	0,000	0,004
4024	167,734	4025	167,724	0,016	0,037	0,003	0,010
4026	30,568	4027	30,576	-0,008	0,006	0,002	-0,008

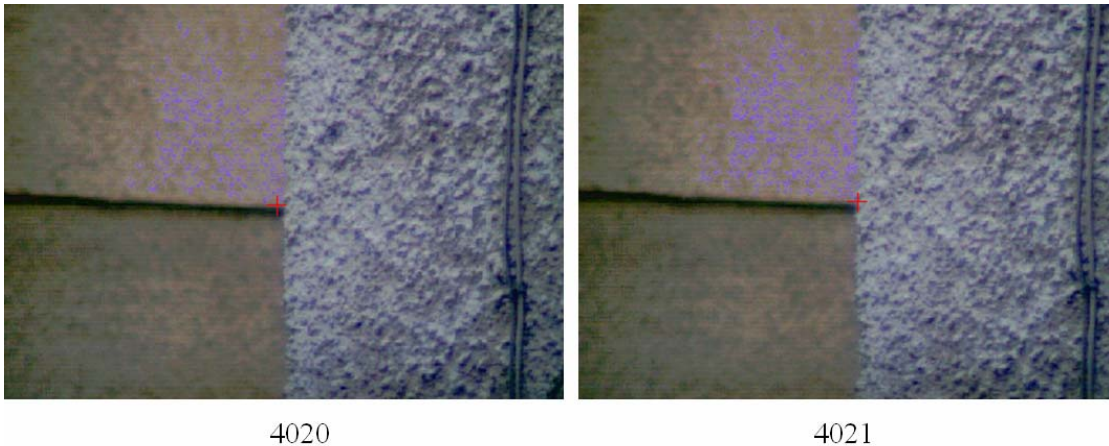


4009



4010

Slika 38: Točka 4009 je bila merjena s programom določitev roba, točka 4010 je bila merjena s klasičnim viziranjem skozi okular daljnogleda.



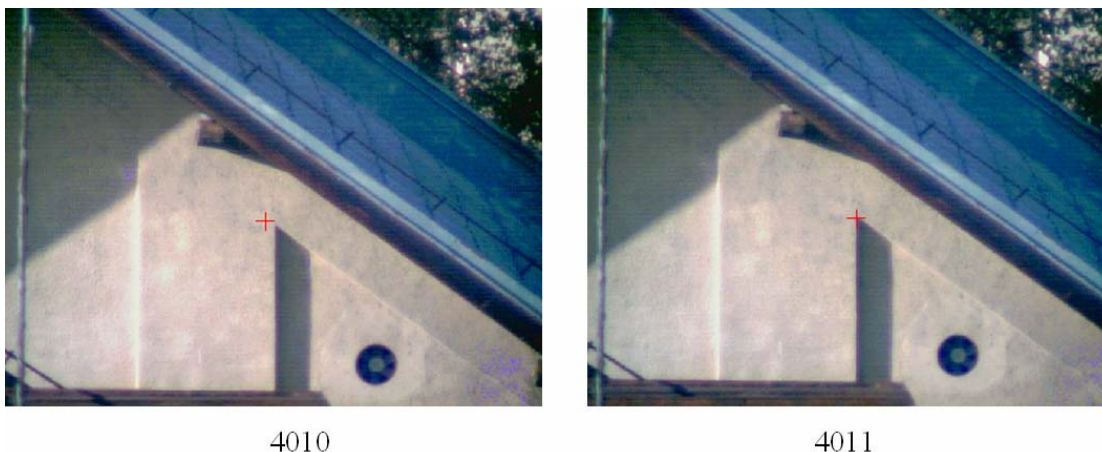
Slika 39: Točka 4020 je bila merjena s programom določitev roba, točka 4021 je bila merjena klasičnim viziranjem skozi okular daljnogleda.

### 5.2.3 Preizkus določitve roba na testnem polju 3 – streha fakultete

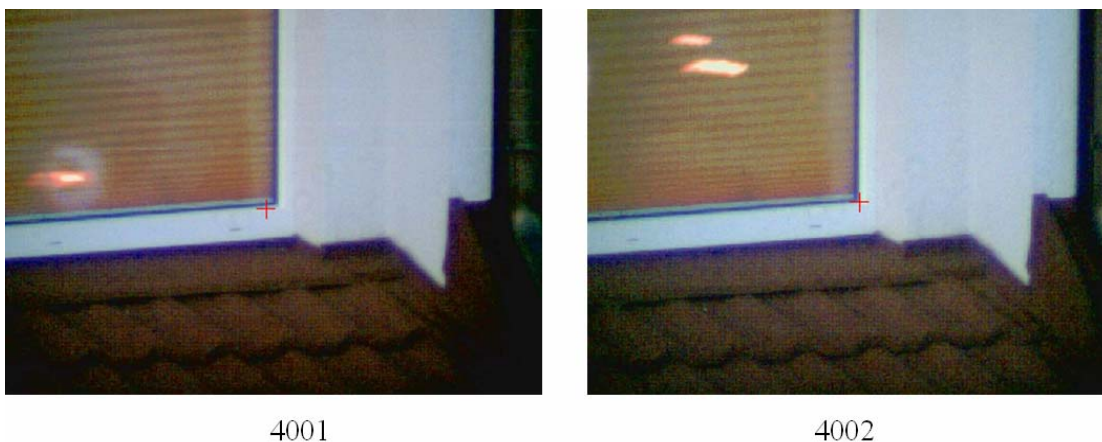
V preglednici 8 so prikazani rezultati preizkusa določitve roba programsko ter s pomočjo klasičnega viziranja na testnem polju 3. Večinoma so bile odbojne površine za merjenje razdalj razgibane in neenotne. Merjene razdalje so bile zelo dolge, najdaljša izmerjena razdalja je bila 269,492 m. Rezultati so dobri, saj je natančnost merjenja razdalj brez reflektorja  $\pm 5$  mm. Podatki meritev za primere na slikah 40 in 41 se nahajajo v preglednici 8, obarvano zeleno.

Preglednica 8: Rezultati meritev določitve roba programsko ter s pomočjo klasičnega viziranja skozi okular daljnogleda za testno polje 3 – streha fakultete.

Določitev roba programsko		Določitev roba s pomočjo klasičnega viziranja		Odstopanja po koordinatah (merjeno klasično – določitev roba programsko)			Odstopanja merjenih dolžin
Točka	Dolžina [m]	Točka	Dolžina [m]	$\Delta x$ [m]	$\Delta y$ [m]	$\Delta z$ [m]	$\Delta D$ [m]
<b>Merjeno sredi dneva</b>							
4004	164,145	4005	164,151	0,004	-0,005	0,109	-0,006
4006	108,882	4007	108,87	-0,024	-0,001	0,013	0,012
4010	269,483	4011	269,492	0,005	-0,006	0,020	-0,009
<b>Merjeno proti večeru</b>							
4001	85,615	4002	85,627	0,013	0,005	0,000	-0,012
4003	252,24	4004	252,265	0,022	0,016	0,016	-0,025



Slika 40: Točka 4010 je bila merjena s programom določitev roba, točka 4011 je bila merjena s klasičnim viziranjem skozi okular daljnogleda – merjeno sredi dneva.

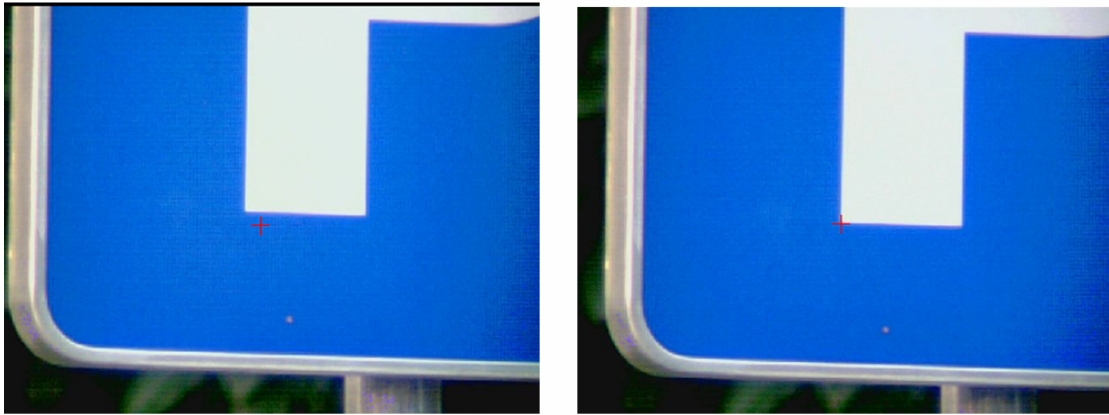


Slika 41: Točka 4001 je bila merjena s programom določitev roba, točka 4002 je bila merjena s klasičnim viziranjem skozi okular daljnogleda – merjeno proti večeru.

#### 5.2.4 Ugotovitve

Najboljše rezultate smo dobili pri merjenih robovih, ki so imeli zelo ostre linije ter dober kontrast, takšen primer predstavlja slika 42. Zelo pomembna je odbojna površina, na katero merimo razdalje. Najboljša je odbojna površina enotne ploskve. V primeru, da so odbojne površine razmaknjene za nekaj metrov ali več, moramo med samo izmero zelo paziti kam viziramo, da izvajamo meritve dolžin na pravo odbojno površino. Takšni primeri so se nam

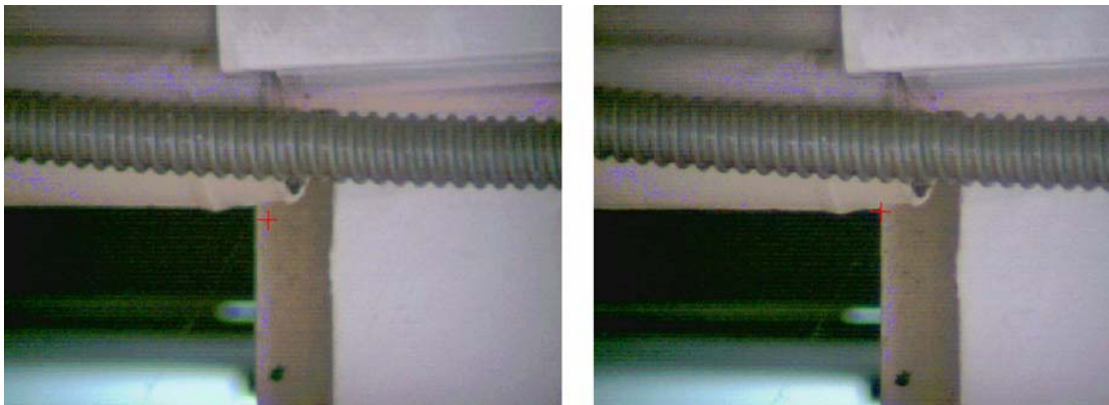
pojavi na testnem polju 1 (točki 4010 in 4011 – slika 43, kjer je  $\Delta D$  2,258 m) in testnem polju 2 (točki 4020 in 4021, kjer je  $\Delta D$  12,587). Različna osvetljenost odbojnih površin in različna oddaljenost teh površin na meritve ni vplivala. Orientacija odbojne površine je vplivala na merjenje dolžin. Če odbojna površina ni bila pravokotna na vizuro, so nastopile težave.



4022

4023

Slika 42: Točka 4022 je bila merjena s programom določitev roba, točka 4023 je bila merjena s klasičnim viziranjem skozi okular daljnogleda (podatki o tem primeru se nahajajo v preglednici 7).



4010

4011

Slika 43: Točka 4010 je bila merjena s programom določitev roba, točka 4011 je bila merjena s klasičnim viziranjem skozi okular daljnogleda (podatki o tem primeru se nahajajo v preglednici 6).

## 6 ZAKLJUČEK

Namen diplomske naloge je predstaviti delovanje instrumenta Topcon GPT-7003i. Elektronski tahimeter Topcon GPT-7003i je med prvimi serijsko izdelanimi instrumenti, ki ima vgrajene slikovne senzorje CMOS. V diplomski nalogi smo našli in opisali nekatere instrumente, ki imajo nameščene slikovne senzorje CCD.

Strokovne literature, ki obravnavajo omenjene instrumente z vgrajenimi senzorji CCD, je dovolj. Po začetnih korakih zbiranja podatkov in literature smo opazili, da je problem sodobne tehnologije v tem, da izdelovalci strogo varujejo podatke o tehničnih lastnostih, sestavi instrumenta, osnovnem principu delovanja. Podjetja, ki izdelujejo takšne instrumente, ne objavljajo teh informacij, ker se bojijo, da jih bo konkurenčno podjetje prehitelo oziroma kopiralo izum. V našem primeru smo lahko pridobili le en znanstveni članek ter patent, ki sta se nanašala na obravnavani instrument. Tako smo navezali stik z avtorji strokovnega članka in patenta. Gospod Ritsuo Sakimura nam je posredoval nekaj koristnih informacij ter nadaljnje kontakte neposredno zaposlenih v podjetju Topcon. Prav tako je bilo zanimivih nekaj člankov in opisov instrumenta, ki so bili bolj reklamnega značaja.

Podrobno smo opisali delovanje instrumenta ter značilnosti slikovnih senzorjev, ki so vgrajeni v instrument. Hoteli smo opraviti kalibracijo teh senzorjev, vendar tudi po pridobljenih informacijah gospoda Hajime Shinozakija ni bilo mogoče izvesti kalibracije. Manjkala nam je posebna tabla s tarčami ter programska oprema GPT-Calibrator. Navezali smo stik z generalnim uvoznikom za Evropo. Ta nam je povedal, da ne more posredovati nobene informacije, brez posvetovanja z vodstvom podjetja v Tokiu. Zato smo se odločili, da podrobneje obravnavamo uporabni funkciji, ki jih omogoča instrument Topcon GPT-7003i. Izvedli smo preizkus viziranja klasično skozi okular daljnogleda ter preizkus viziranja s pomočjo zaslona instrumenta. S tem preizkusom smo preverili trditev v začetku diplomske naloge, ali lahko izvajamo kakovostne meritve samo z viziranjem s pomočjo zaslona instrumenta. Instrument smo preizkusili na različnih testnih poljih, v različnih merskih pogojih. Instrument se je najbolje odrezal na testnem polju 2 – park, kjer so bile merjene dolžine okoli 100 m. Odstopanja merjenih horizontalnih smeri in zenitnih razdalj z viziranjem



skozi okular daljnogleda ter s pomočjo zaslona instrumenta so znašala nekaj sekund. Rezultat meritev nas je presenetil, saj smo pričakovali večja odstopanja in manj homogene rezultate. Seveda se pri viziranju s pomočjo zaslona pojavljajo težave kot so: daljši čas meritev (40% – 50%), osvetljenost tarč, bleščanje zaslona, zaraščenost terena, problem ozkih signalov,...

Preizkusili in predstavili smo metodo določitve roba (angl. edge extraction). Metoda ima uporabno vrednost. Pravo uporabno vrednost pa doseže v novejših različicah topconovih instrumentov (Topcon GPT-9000A,...), saj avtomatiziran instrument sam zazna in samodejno izmeri robove merjenih objektov. Pri preizkusu določitve roba smo spoznali, da je zelo pomembna odbojna površina za merjenje razdalj. Pri merjenih razdaljah, kjer je odbojna površina za merjenje razdalj enaka, smo dobili po obeh variantah izmere (določitev roba programsko in določitev roba s klasičnim viziranjem) zelo majhna odstopanja.

Na koncu lahko zaključimo, da je instrument uporaben ter da imajo digitalne podobe detajlnih točk uporabno vrednost pri obdelavi podatkov v pisarni. Prav tako lahko digitalne podobe uporabimo kot dokazno gradivo in kot pomoč pri predstavitvi končnih izdelkov. S tem se uporabnost instrumenta preseli tudi na druga negeodetska področja, kjer potrebujejo kvalitetne in natančne podatke in kjer je pomembna hitrost zajema podatkov ter dokazna vrednost – forenzične preiskave (prometne nesreče, druge nesreče, kriminalna dejanja, monitoring,...).

## VIRI

### Uporabljeni viri

Ambrožič, T. 2003/2004. Zapiski iz predmeta Geodezija I. Ljubljana, Univerza v Ljubljani, Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo, Oddelek za geodezijo: 100 str.

Bijlsma, P. 2008. Added value of photogrammetry is obvious. Topcon Netherlands.  
<http://www.topconatwork.eu/> (22.11.2008).

Davis, R. 2006. Topcon GPT 7000i Solves Measurement Issues for ENGlobal. The American Surveyor, June: 6 str.

Jonkman, D. 2007. Technological progress enables efficient building methods. Topcon Netherlands.  
<http://www.topconatwork.eu/> (22.11.2008).

Juretzko, M. 2004. Reflektorlose Video-Tachymetrie-ein integrales Verfahren zur Erfassung geometrischer und visueller Informationen. Doktorska naloga. Bochum, Ruhr-Universität Bochum, Fakultät für Bauingenieurwesen: 122 str.  
[http://deposit.ddb.de/cgi-bin/dokserv?idn=974479144&dok\\_var=d1&dok\\_ext=pdf&filename=974479144.pdf](http://deposit.ddb.de/cgi-bin/dokserv?idn=974479144&dok_var=d1&dok_ext=pdf&filename=974479144.pdf)  
(6.2.2009)

Kladnik, R. 1971. Osnove fizike za tehnike II. del. Ljubljana, Državna založba Slovenije: 293-625 str.

Kladnik, R. 1989. Visokošolska fizika 3. del: akustika in optika, valovni pojavi. Ljubljana, Državna založba Slovenije: 181 str.

Ohtomo, F., Sakimura, R. 2007. Electronic Surveying Apparatus. United States Patent, Patent No.: US 7177016 B2.  
<http://www.patentgenius.com/patent/7177016.html> (18.4.2009).

Pople, S. 2007. Fizika shematski pregledi. Ljubljana, Tehniška založba Slovenije: 128 str.

Sakimura, R. Topcon Total Station with Imaging. Message to: [rsakimura@topcon.com](mailto:rsakimura@topcon.com). 21. september 2009. Osebna komunikacija.

Sakimura, R., Maruyama, K. 2007. Development of a New Generation Imaging Total Station System. Journal of Surveying Engineering, Volume 133, 14-22 str. Osebna komunikacija.

Scherer, M. 2002. Advantages of the Integration of Image Processing and Direct Coordinate Measurement for Architectural Surveying - Development of the System TOTAL. FIG XXII International Congress, Washington, D.C. USA.  
[http://www.fig.net/pub/fig\\_2002/Js28/JS28\\_scherer.pdf](http://www.fig.net/pub/fig_2002/Js28/JS28_scherer.pdf) (12.9.2009).

Skelton, J. 2008. Investigation of fatal injury road collision and crime scenes is faster and more efficient. Topcon Great Britain.  
<http://www.topconatwork.eu/> (22.11.2008).

Topcon, 2004. Topcon GPT-7000/GTS-720 series Windows CE Total Station. Netherlands Topcon Europe B.V.: 6 str.

Topcon, 2006a. Instruction manual IMAGING TOTAL STATION GPT-7000i – standard measurement mode. Topcon Japan: 112 str.

Topcon, 2006b. Reference Manual TopSURV OnBoard for GPT-7000i, 1.Function. Topcon Japan: 66 str.

Topcon, 2006c. Reference Manual TopSURV OnBoard for GPT-7000i, 2.Observation. Topcon Japan: 86 str.

Walser, B. H. 2004. Development and calibration of an image assisted total station. Doktorska naloga. Zurich, Swiss Federal Institute of Technology, Institute of Geodesy and Photogrammetry: 167 str.  
<http://e-collection.ethbib.ethz.ch/eserv/eth:27521/eth-27521-02.pdf> (10.2.2009)

Zadnikar, A. 2009. Zaznavanje objektov na topografskih kartah. Diplomaska naloga. Ljubljana, Univerza v Ljubljani, Fakulteta za računalništvo in informatiko. Oddelek za računalništvo in informatiko: 49 str.

### **Internetni viri**

CCD versus CMOS

[http://www.dalsa.com/corp/markets/CCD\\_vs\\_CMOS.aspx](http://www.dalsa.com/corp/markets/CCD_vs_CMOS.aspx) (24.9.2009)

Elektromagnetno valovanje

[http://en.wikipedia.org/wiki/Electromagnetic\\_radiation](http://en.wikipedia.org/wiki/Electromagnetic_radiation) (5.10.2009).

Fichtmüller, D. 2001. Kalibrierung und Systemoptimierung des hybriden 3D- Messsystems

"Hybmess". [http://www1.tu-](http://www1.tu-darmstadt.de/fb/bi/geod/gi/sonstiges/publikationen/diplomarbeiten/jahr2001/fichtmuellerd/fic)

[darmstadt.de/fb/bi/geod/gi/sonstiges/publikationen/diplomarbeiten/jahr2001/fichtmuellerd/fic](http://www1.tu-darmstadt.de/fb/bi/geod/gi/sonstiges/publikationen/diplomarbeiten/jahr2001/fichtmuellerd/fic)  
[htmuelled.htm](http://www1.tu-darmstadt.de/fb/bi/geod/gi/sonstiges/publikationen/diplomarbeiten/jahr2001/fichtmuellerd/fic) (10.9.2009).

Senzor CCD

[http://en.wikipedia.org/wiki/Charge-coupled\\_device](http://en.wikipedia.org/wiki/Charge-coupled_device) (24.9.2009).

Senzor CMOS

[http://en.wikipedia.org/wiki/Active\\_pixel\\_sensor](http://en.wikipedia.org/wiki/Active_pixel_sensor) (24.9.2009).

Spekter elektromagnetnega valovanja

<http://www.kvarkadabra.net/mediagallery/media.php?f=0&sort=0&s=20060326214527911>  
(24.9.2009)

Totalni odboj

<http://www.fiberoptics4sale.com/Merchant2/optical-fiber.php> (10.10.2009).

Topcon Europe

<http://www.topcon-positioning.eu/index.asp> (6.11.2008, 10.9.2009).

Tranzistor

[http://files.gsobar.uni.cc/GRADIVA\\_informatika\\_omrezja\\_baze/colos/racunalnistvo/RACUNALNISTVO/RAC\\_SLOJI/Tranzistor.html](http://files.gsobar.uni.cc/GRADIVA_informatika_omrezja_baze/colos/racunalnistvo/RACUNALNISTVO/RAC_SLOJI/Tranzistor.html) (5.10.2009).

## **Drugi viri**

Donath, B., Monz, L.H. 2002. Telescope for geodetic instruments, particularly for video tachymeters. United States Patent, Patent No.: US 6487011 B2. HTML (23.9.2009)

Kahmen, H. De Seixas, A. 1999. Object recognition with video-theodolites and without targeting the object. 6<sup>th</sup> International Workshop on Accelerator Alignment 99.  
<http://www.slac.stanford.edu/econf/C9910183/papers/010.PDF> (27.1.2009).

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

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

Möser, M., Müller, G., Schlemmer, H., Werner, H. 2000. Handbuch Ingenieurgeodädie, Grundlagen, 3., völlig neubearbeitete und erweiterte Auflage. Heidelberg, Herbert Wichmann Verlag: 642 str.

Reiterer, A., Lehmann, M., Fabiankowitsch J., Kahmen H. 2007. A Knowledge-Based Optical 3D Measurement and Analysis System for Quality Control. Vermessung & Geoinformation 2/2007, 173 – 178 str.  
[http://www.ovg.at/uploads/media/VGI\\_2007-2\\_16\\_Reiterer\\_Lehmann\\_Fabiankowitsch\\_Kahmen\\_01.pdf](http://www.ovg.at/uploads/media/VGI_2007-2_16_Reiterer_Lehmann_Fabiankowitsch_Kahmen_01.pdf) (6.5.2009).

Roic, M. 1996. Erfassung von nicht signalisierten 3D Strukturen mit Videotheodoliten. Doktorska naloga. Technische Universität Wien, Studienrichtung Vermessungswesen, Abteilung Ingenieurgeodäsie: 77 str.  
[www.upi.geof.unizg.hr/webresursi/knjiznica/drsc/GWM\\_43.pdf](http://www.upi.geof.unizg.hr/webresursi/knjiznica/drsc/GWM_43.pdf) (6.5.2009).

Sakimura, R., Kimura, K., Inaba, K. 1995. Surveying instrument having mode judgement means. United States Patent, Patent Number: 5,440,112.  
[http://www.patentstorm.us/patents/pdfs/patent\\_id/5440112.html](http://www.patentstorm.us/patents/pdfs/patent_id/5440112.html) (23.9.2009)

Sakimura, R., Maruyama, K. 2003. The method of setting slope stakes in road construction using 3D design model. Proc., 2nd FIG Regional Conf., International Federation of Surveyors, Frederiksberg, Denmark.

Shinozaki, H. Topcon Total Station with Imaging. Message to: h.shino@topcon.co.jp. 26. september 2009. Osebna komunikacija.

Topcon, 2006d. Reference Manual TopSURV OnBoard. Topcon Japan: 356 str.

Žgajnar, B. 2000. Uporaba CCD senzorjev v geodetskih instrumentih. Diplomaska naloga. Ljubljana, Univerza v Ljubljani, Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo, Oddelek za geodezijo: 95 str.

## **PRILOGE**

**PRILOGA A: REZULTATI MERITEV TESTNO POLJE 1, OBDELAVA HORIZONTALNIH SMERI IN ZENITNIH RAZDALJ**

**TESTNO POLJE 1 - zimske vaje  
OBDELAVA HORIZONTALNIH SMERI – KLASIČNO VIZIRANJE**

Girus	Ime točke	I k.l. [°, ' "]	II k.l. [°, ' "]	Sredina [°, ' "]	2c ["]	Reducirana sredina [°, ' "]	Reducirana sredina girusov [°, ' "]
1	nebotičnik	348,2748	168,2749	348,2749	1	0,0000	0,0000
	grad	0,0004	180,0013	180,0009	9	11,3220	
	trnovo desna	3,2412	183,2421	3,2417	9	14,5628	
2	nebotičnik	348,2747	168,2751	348,2749	4	0,0000	
	grad	359,5958	180,0006	360,0002	8	11,3213	
	trnovo desna	3,2409	183,2418	3,2414	9	14,5625	
3	nebotičnik	348,2743	168,2757	348,2750	14	0,0000	
	grad	359,5957	180,0013	360,0005	16	11,3215	
	trnovo desna	3,2413	183,2422	3,2418	9	14,5628	

**VIZIRANJE S POMOČJO ZASLONA**

Girus	Ime točke	I k.l. [°, ' "]	II k.l. [°, ' "]	Sredina [°, ' "]	2c ["]	Reducirana sredina [°, ' "]	Reducirana sredina girusov [°, ' "]
1	nebotičnik	348,2744	168,2755	348,2750	11	0,0000	0,0000
	grad	359,5954	179,5957	359,5956	3	11,3206	
	trnovo desna	3,2416	183,2418	3,2417	2	14,5628	
2	nebotičnik	348,2741	168,2753	348,2747	12	0,0000	
	grad	359,5955	180,0001	359,5958	6	11,3211	
	trnovo desna	3,2411	183,2414	3,2413	3	14,5626	
3	nebotičnik	348,2746	168,2751	348,2749	5	0,0000	
	grad	0,0007	180,0004	180,0006	-3	11,3217	
	trnovo desna	3,2414	183,2414	3,2414	0	14,5626	

**TESTNO POLJE 1 - zimske vaje**  
**OBDELAVA ZENITNIH RAZDALJ – KLASIČNO VIZIRANJE**

<b>Girus</b>	<b>Ime točke</b>	<b>I k.l.</b> [°, ' " ]	<b>II k.l.</b> [°, ' " ]	<b>I+II</b> [°, ' " ]	<b><math>z = (I + 360 - II) / 2</math></b> [°, ' " ]	<b>Sredina girusov</b> [°, ' " ]
<b>1</b>	grad	87,3115	272,2838	359,5953	87,3119	<b>87,3121</b>
	prizma	89,5229	270,0735	360,0004	89,5227	
	cerkev	86,5700	273,0259	359,5959	86,5701	
<b>2</b>	grad	87,3119	272,2835	359,5954	87,3122	
	prizma	89,5230	270,0739	360,0009	89,5226	
	cerkev	86,5702	273,0254	359,5956	86,5704	
<b>3</b>	grad	87,3121	272,2838	359,5959	87,3122	
	prizma	89,5228	270,0733	360,0001	89,5228	
	cerkev	86,5702	273,0300	360,0002	86,5701	

**VIZIRANJE S POMOČJO ZASLONA**

<b>Girus</b>	<b>Ime točke</b>	<b>I k.l.</b> [°, ' " ]	<b>II k.l.</b> [°, ' " ]	<b>I+II</b> [°, ' " ]	<b><math>z = (I + 360 - II) / 2</math></b> [°, ' " ]	<b>Sredina girusov</b> [°, ' " ]
<b>1</b>	grad	87,3115	272,2842	359,5957	87,3117	<b>87,3118</b>
	prizma	89,5222	270,0718	359,5940	89,5232	
	cerkev	86,5801	273,0259	360,0060	86,5731	
<b>2</b>	grad	87,3113	272,2834	359,5947	87,3120	
	prizma	89,5231	270,0739	360,0010	89,5226	
	cerkev	86,5645	273,0224	359,5909	86,5711	
<b>3</b>	grad	87,3116	272,2838	359,5954	87,3119	
	prizma	89,5232	270,0720	359,5952	89,5236	
	cerkev	86,5730	273,0238	360,0008	86,5726	



**PRILOGA B: REZULTATI MERITEV TESTNO POLJE 2, OBDELAVA HORIZONTALNIH SMERI IN ZENITNIH RAZDALJ**

**TESTNO POLJE 2 - park  
OBDELAVA HORIZONTALNIH SMERI – KLASIČNO VIZIRANJE**

Girus	Ime točke	I k.l. [°, '"]	II k.l. [°, '"]	Sredina [°, '"]	2c ["]	Reducirana sredina [°, '"]	Reducirana sredina girusov [°, '"]
1	prizma 1	359,5953	179,5956	359,5955	3	0,0000	<b>0,0000</b>
	prizma 2	9,0510	189,0511	189,0511	1	9,0516	<b>9,0515</b>
	prizma 3	16,1108	196,1113	16,1111	5	16,1116	<b>16,1113</b>
2	prizma 1	359,5959	179,5959	359,5959	0	0,0000	
	prizma 2	9,0510	189,0509	189,0510	-1	9,0511	
	prizma 3	16,1106	196,1110	16,1108	4	16,1109	
3	prizma 1	359,5946	179,5956	359,5951	10	0,0000	
	prizma 2	9,0506	189,0512	189,0509	6	9,0518	
	prizma 3	16,1107	196,1104	16,1106	-3	16,1115	

**VIZIRANJE S POMOČJO ZASLONA**

Girus	Ime točke	I k.l. [°, '"]	II k.l. [°, '"]	Sredina [°, '"]	2c ["]	Reducirana sredina [°, '"]	Reducirana sredina girusov [°, '"]
1	prizma 1	359,5952	179,5956	359,5954	4	0,0000	<b>0,0000</b>
	prizma 2	9,0505	189,0519	189,0512	14	9,0518	<b>9,0513</b>
	prizma 3	16,1102	196,1108	16,1105	6	16,1111	<b>16,1112</b>
2	prizma 1	359,5955	179,5959	359,5957	4	0,0000	
	prizma 2	9,0504	189,0513	189,0509	9	9,0511	
	prizma 3	16,1114	196,1115	16,1115	1	16,1118	
3	prizma 1	0,0005	180,0001	180,0003	-4	0,0000	
	prizma 2	9,0512	189,0514	189,0513	2	9,0510	
	prizma 3	16,1105	196,1114	16,1110	9	16,1107	

**TESTNO POLJE 2 - park**  
**OBDELAVA ZENITNIH RAZDALJ – KLASIČNO VIZIRANJE**

<b>girus</b>	<b>Ime točke</b>	<b>I k.l.</b> [°, '"]	<b>II k.l.</b> [°, '"]	<b>I+II</b> [°, '"]	<b><math>z = (I + 360 - II) / 2</math></b> [°, '"]	<b>sredina girusov</b> [°, '"]
<b>1</b>	prizma 1	90,0552	269,5405	359,5957	90,0554	<b>90,0552</b>
	prizma 2	90,0352	269,5617	360,0009	90,0348	<b>90,0348</b>
	prizma 3	90,0320	269,5642	360,0002	90,0319	<b>90,0319</b>
<b>2</b>	prizma 1	90,0547	269,5406	359,5953	90,0550	
	prizma 2	90,0350	269,5613	360,0003	90,0349	
	prizma 3	90,0315	269,5639	359,5954	90,0318	
<b>3</b>	prizma 1	90,0551	269,5405	359,5956	90,0553	
	prizma 2	90,0349	269,5612	360,0001	90,0349	
	prizma 3	90,0319	269,5638	359,5957	90,0321	

**VIZIRANJE S POMOČJO ZASLONA**

<b>girus</b>	<b>Ime točke</b>	<b>I k.l.</b> [°, '"]	<b>II k.l.</b> [°, '"]	<b>I+II</b> [°, '"]	<b><math>z = (I + 360 - II) / 2</math></b> [°, '"]	<b>sredina girusov</b> [°, '"]
<b>1</b>	prizma 1	90,0546	269,5402	359,5948	90,0552	<b>90,0554</b>
	prizma 2	90,0337	269,5604	359,5941	90,0347	<b>90,0347</b>
	prizma 3	90,0314	269,5630	359,5944	90,0322	<b>90,0322</b>
<b>2</b>	prizma 1	90,0548	269,5358	359,5946	90,0555	
	prizma 2	90,0340	269,5606	359,5946	90,0347	
	prizma 3	90,0315	269,5631	359,5946	90,0322	
<b>3</b>	prizma 1	90,0551	269,5403	359,5954	90,0554	
	prizma 2	90,0347	269,5614	360,0001	90,0347	
	prizma 3	90,0551	269,5403	359,5954	90,0554	

**PRILOGA C: REZULTATI MERITEV TESTNO POLJE 3, OBDELAVA HORIZONTALNIH SMERI IN ZENITNIH RAZDALJ**

**TESTNO POLJE 3 – streha fakultete PROTI VEČERU  
OBDELAVA HORIZONTALNIH SMERI – KLASIČNO VIZIRANJE**

Girus	Ime točke	I k.l. [°, ' "]	II k.l. [°, ' "]	Sredina [°, ' "]	2c ["]	Reducirana sredina [°, ' "]	Reducirana sredina girusov [°, ' "]
1	nebotičnik	359,5950	179,5958	359,5954	8	0,0000	0,0000
	grad	35,0631	215,0635	215,0633	4	35,0639	35,0639
	Trnovo desna	83,2611	263,2623	83,2617	12	83,2623	83,2621
2	nebotičnik	359,5955	179,5954	359,5955	1	0,0000	
	grad	35,0632	215,0635	215,0634	3	35,0639	
	Trnovo desna	83,2611	263,2608	83,2610	-3	83,2615	
3	nebotičnik	359,5952	179,5953	359,5953	1	0,0000	
	grad	35,0629	215,0635	215,0632	6	35,0640	
	Trnovo desna	83,2614	263,2620	83,2617	6	83,2625	

**VIZIRANJE S POMOČJO ZASLONA**

Girus	Ime točke	I k.l. [°, ' "]	II k.l. [°, ' "]	Sredina [°, ' "]	2c ["]	Reducirana sredina [°, ' "]	Reducirana sredina girusov [°, ' "]
1	nebotičnik	359,5958	179,5956	359,5957	-2	0,0000	0,0000
	grad	35,0636	215,0641	215,0639	5	35,0642	35,0641
	Trnovo desna	83,2611	263,2619	83,2615	8	83,2618	83,2622
2	nebotičnik	359,5951	180,0000	359,5956	9	0,0000	
	grad	35,0630	215,0636	215,0633	6	35,0638	
	Trnovo desna	83,2613	263,2623	83,2618	10	83,2623	
3	nebotičnik	359,5957	179,5949	359,5953	-8	0,0000	
	grad	35,0634	215,0638	215,0636	4	35,0643	
	Trnovo desna	83,2616	263,2621	83,2619	5	83,2626	

**TESTNO POLJE 3 – streha fakultete PROTI VEČERU**  
**OBDELAVA ZENITNIH RAZDALJ – KLASIČNO VIZIRANJE**

<b>Girus</b>	<b>Ime točke</b>	<b>I k.l.</b> [°, '"]	<b>II k.l.</b> [°, '"]	<b>I+II</b> [°, '"]	<b><math>z = (I + 360 - II) / 2</math></b> [°, '"]	<b>Sredina girusov</b> [°, '"]
<b>1</b>	nebotičnik	87,3146	272,2813	359,5959	87,3147	<b>87,3148</b>
	grad	84,5452	275,0511	360,0003	84,5451	<b>84,5449</b>
	Trnovo desna	88,2040	271,3920	360,0000	88,2040	<b>88,2040</b>
<b>2</b>	nebotičnik	87,3148	272,2813	360,0001	87,3148	
	grad	84,5451	275,0518	360,0009	84,5447	
	Trnovo desna	88,2038	271,3912	359,5950	88,2043	
<b>3</b>	nebotičnik	87,3150	272,2812	360,0002	87,3149	
	grad	84,5449	275,0508	359,5957	84,5451	
	Trnovo desna	88,2032	271,3920	359,5952	88,2036	

**VIZIRANJE S POMOČJO ZASLONA**

<b>Girus</b>	<b>Ime točke</b>	<b>I k.l.</b> [°, '"]	<b>II k.l.</b> [°, '"]	<b>I+II</b> [°, '"]	<b><math>z = (I + 360 - II) / 2</math></b> [°, '"]	<b>Sredina girusov</b> [°, '"]
<b>1</b>	nebotičnik	87,3146	272,2758	359,5944	87,3154	<b>87,3154</b>
	grad	84,5429	275,0503	359,5932	84,5443	<b>84,5446</b>
	Trnovo desna	88,2041	271,3906	359,5947	88,2048	<b>88,2045</b>
<b>2</b>	nebotičnik	87,3147	272,2802	359,5949	87,3153	
	grad	84,5435	275,0507	359,5942	84,5444	
	Trnovo desna	88,2044	271,3908	359,5952	88,2048	
<b>3</b>	nebotičnik	87,3148	272,2758	359,5946	87,3155	
	grad	84,5452	275,0513	360,0005	84,5450	
	Trnovo desna	88,2040	271,3922	360,0002	88,2039	

**TESTNO POLJE 3 – streha fakultete PODNEVI**  
**OBDELAVA HORIZONTALNIH SMERI – KLASIČNO VIZIRANJE**

<b>Girus</b>	<b>Ime točke</b>	<b>I k.l.</b> [°, ' "]	<b>II k.l.</b> [°, ' "]	<b>Sredina</b> [°, ' "]	<b>2c</b> ["]	<b>Reducirana sredina</b> [°, ' "]	<b>Reducirana sredina girusov</b> [°, ' "]
<b>1</b>	nebotičnik	0,0003	180,0003	180,0003	0	0,0000	<b>0,0000</b>
	grad	35,0642	215,0640	215,0641	-2	35,0638	<b>35,0641</b>
	Trnovo desna	83,2625	263,2622	83,2624	-3	83,2621	<b>83,2625</b>
<b>2</b>	nebotičnik	0,0000	179,5956	179,5958	-4	0,0000	
	grad	35,0638	215,0645	215,0642	7	35,0644	
	Trnovo desna	83,2624	263,2629	83,2627	5	83,2629	
<b>3</b>	nebotičnik	359,5954	180,0001	359,5958	7	0,0000	
	grad	35,0638	215,0641	215,0640	3	35,0642	
	Trnovo desna	83,2621	263,2625	83,2623	4	83,2626	

**VIZIRANJE S POMOČJO ZASLONA**

<b>Girus</b>	<b>Ime točke</b>	<b>I k.l.</b> [°, ' "]	<b>II k.l.</b> [°, ' "]	<b>sredina</b> [°, ' "]	<b>2c</b> ["]	<b>Reducirana sredina</b> [°, ' "]	<b>Reducirana sredina girusov</b> [°, ' "]
<b>1</b>	nebotičnik	0,0002	179,5957	179,5960	-2	0,0000	<b>0,0000</b>
	grad	35,0642	215,0647	215,0645	5	35,0645	<b>35,0647</b>
	Trnovo desna	83,2627	263,2626	83,2627	8	83,2627	<b>83,2627</b>
<b>2</b>	nebotičnik	359,5955	179,5959	359,5957	9	0,0000	
	grad	35,0645	215,0645	215,0645	6	35,0648	
	Trnovo desna	83,2622	263,2627	83,2625	10	83,2628	
<b>3</b>	nebotičnik	0,0003	179,5959	180,0001	-8	0,0000	
	grad	35,0652	215,0646	215,0649	4	35,0648	
	Trnovo desna	83,2627	263,2627	83,2627	5	83,2626	

**TESTNO POLJE 3 – streha fakultete PODNEVI**  
**OBDELAVA ZENITNIH RAZDALJ – KLASIČNO VIZIRANJE**

<b>Girus</b>	<b>Ime točke</b>	<b>I k.l.</b> [°, '"]	<b>II k.l.</b> [°, '"]	<b>I+II</b> [°, '"]	<b><math>z = (I + 360 - II) / 2</math></b> [°, '"]	<b>Sredina girusov</b> [°, '"]
<b>1</b>	nebotičnik	87,3148	272,2807	359,5955	87,3151	<b>87,3152</b>
	grad	84,5425	275,0538	360,0003	84,5424	<b>84,5424</b>
	Trnovo desna	88,2040	271,3920	360,0000	88,2040	<b>88,2639</b>
<b>2</b>	nebotičnik	87,3152	272,2808	360,0000	87,3152	
	grad	84,5423	275,0535	359,5958	84,5424	
	Trnovo desna	88,2239	271,0535	359,2814	88,3832	
<b>3</b>	nebotičnik	87,3156	272,2808	360,0004	87,3154	
	grad	84,5421	275,0532	359,5953	84,5425	
	Trnovo desna	88,2044	271,3917	360,0001	88,2044	

**VIZIRANJE S POMOČJO ZASLONA**

<b>Girus</b>	<b>Ime točke</b>	<b>I k.l.</b> [°, '"]	<b>II k.l.</b> [°, '"]	<b>I+II</b> [°, '"]	<b><math>z = (I + 360 - II) / 2</math></b> [°, '"]	<b>Sredina girusov</b> [°, '"]
<b>1</b>	nebotičnik	87,3147	272,2801	359,5948	87,3153	<b>87,3152</b>
	grad	84,5419	275,0526	359,5945	84,5427	<b>84,5423</b>
	Trnovo desna	88,2029	271,3911	359,5940	88,2039	<b>88,2041</b>
<b>2</b>	nebotičnik	87,3146	272,2804	359,5950	87,3151	
	grad	84,5411	275,0525	359,5936	84,5423	
	Trnovo desna	88,2036	271,3907	359,5943	88,2045	
<b>3</b>	nebotičnik	87,3146	272,2805	359,5951	87,3151	
	grad	84,5411	275,0530	359,5941	84,5421	
	Trnovo desna	88,2033	271,3912	359,5945	88,2041	