

Glasilo Zveze geodetov Slovenije
Journal of the Association of Surveyors of Slovenia

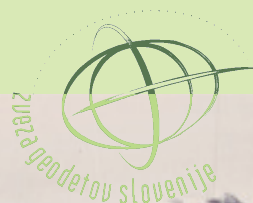
GEODETSKI VESTNIK

2020

ISSN 0351-0271

Letn. 64 | št. 2

Vol. 64 | No. 2



GEODETSKI VESTNIK

UDK 528=863
ISSN 0351-0271
EISSN 1581-1328



Letnik 64, št. 2, str. 157–290, Ljubljana, junij 2020. Izidejo štiri številke na leto.
Naklada te številke: 1200 izvodov.

Prosto dostopno na spletnem naslovu: <http://www.geodetski-vestnik.com>.

Vol. 64, No. 2, pp. 157–290, Ljubljana, Slovenia, Jun 2020. Issued four times a year.
Circulation: 1,200 copies.

Free on-line access at <http://www.geodetski-vestnik.com>.

IF JCR (2018): 0,606

IF SNIP (2018): 0,543



Geodetski vestnik je odprtodostopna revija.

Recenzirani objavljeni članki so indeksirani in povzeti v:

Social Sciences Citation Index (SSCI)

Social Scisearch (SSS) in

Journal Citation Reports/Social Sciences Edition (JCR/SSE)

Geodetski vestnik je indeksiran in povzet tudi v bibliografskih zbirkah:

GEOBASE(TM), ICONDA – International Construction Database, DOAJ – Directory of Open Access Journals, SCOPUS, COBISS, Civil Engineering Abstracts, GeoRef, CSA Aerospace & High Technology Database, Electronics and Communications Abstracts, Materials Business File, Solid State and Superconductivity Abstracts, Computer and Information Systems, Mechanical & Transportation Engineering Abstracts, Water Resources Abstracts, Environmental Sciences

Geodetski vestnik is an open access journal.

The reviewed papers are indexed and abstracted in:

Social Sciences Citation Index (SSCI)

Social Scisearch (SSS) and

Journal Citation Reports/ Social Sciences Edition (JCR/SSE)

Indexed and abstracted is also in those bibliographic data bases:

GEOBASE(TM), ICONDA – International Construction Database, DOAJ – Directory of Open Access Journals, SCOPUS, COBISS, Civil Engineering Abstracts, GeoRef, CSA Aerospace & High Technology Database, Electronics and Communications Abstracts, Materials Business File, Solid State and Superconductivity Abstracts, Computer and Information Systems, Mechanical & Transportation Engineering Abstracts, Water Resources Abstracts, Environmental Sciences

Izdajanje Geodetskega vestnika sofinancira:
Javna agencija za raziskovalno dejavnost Republike Slovenije.

Geodetski vestnik je vpisan v razvid medijev na
Ministrstvu za kulturo Republike Slovenije pod zaporedno številko 526.

Geodetski vestnik is partly subsidized by the Slovenian Research
Agency.

Geodetski vestnik is entered in the mass media register at the Ministry
of Culture of the Republic of Slovenia under No. 526.

GLAVNA IN ODGOVORNA UREDNICA

dr. Anka Lisec

Univerza v Ljubljani, Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo, Slovenija

Jamova cesta 2, SI-1000 Ljubljana

Tel.: +386 1 4768 560

e-naslov: urednik@geodetski-vestnik.com

PODROČNI UREDNIKI

Sandi Berk, urednik rubrike *strokovne razprave*

dr. Božo Koler, področni urednik za *inženirsko geodezijo*

dr. Mojca Kosmatin Fras, področna urednica za *fotogrametrijo*

dr. Klemen Kregar, področni urednik za *geodezijo*

dr. Božena Lipej, področna urednica za *upravljanje in evidentiranje nepremičnin*

dr. Kristof Oštir, področni urednik za *daljinsko zaznavanje in geoinformatiko*

dr. Bojan Stopar, področni urednik za *satelitsko geodezijo in geofiziko*

dr. Alma Zavodnik Lamovšek, področna urednica za *načrtovanje in urejanje prostora*

MEDNARODNI UREDNIŠKI ODBOR

dr. Ivan R. Aleksić (Univerza v Beogradu, Gradbena fakulteta, Beograd, Srbija)

dr. Janja Avbelj (Eumetsat, Darmstadt, Nemčija)

dr. Branislav Bajat (Univerza v Beogradu, Gradbena fakulteta, Beograd, Srbija)

dr. Tomislav Bašič (Univerza v Zagrebu, Fakulteta za geodezijo, Zagreb, Hrvaška)

dr. Giuseppe Borruso (Univerza v Trstu, DEAMS, Trst, Italija)

Miran Brumec (Inženirska zbornica Slovenije)

dr. Raffaella Cefalo (Univerza v Trstu, Oddelek za inženirstvo in arhitekturo, Trst, Italija)

dr. Vlado Cetl (EK, Skupno raziskovalno središče, Ispra, Italija)

dr. Joep Crompvoets (KU Leuven, Public Governance Institute, Leuven, Belgija)

dr. Marjan Čeh (Univerza v Ljubljani, Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo, Ljubljana, Slovenija)

dr. Walter Timo de Vries (Tehniška univerza München, München, Nemčija)

dr. Urška Demšar (Univerza St. Andrews, Velika Britanija)

dr. Samo Drobne (Univerza v Ljubljani, Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo, Ljubljana, Slovenija)

mag. Erna Flogie Dolinar (Geodetska uprava RS, Ljubljana, Slovenija)

dr. Thomas Kalbro (Kraljevi inštitut KTH, Stockholm, Švedska)

dr. Dušan Kogoj (Univerza v Ljubljani, Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo, Ljubljana, Slovenija)

dr. Žiga Kokalj (ZRC SAZU, Inštitut za antropološke in prostorske študije, Ljubljana, Slovenija)

dr. Miran Kuhar (Univerza v Ljubljani, Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo, Ljubljana, Slovenija)

dr. Reinfried Mansberger (Univerza za naravoslovne in biotehniške vede, IVFL, Dunaj, Avstrija)

dr. Leiv Bjarte Mjøs (Visoka šola v Bergnu, Bergen, Norveška)

dr. Gerhard Navratil (Tehniška univerza na Dunaju, Dunaj, Avstrija)

Tomaž Petek (Geodetska uprava RS, Ljubljana, Slovenija)

dr. Dušan Petrovič (Univerza v Ljubljani, Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo, Ljubljana, Slovenija)

dr. Alenka Poplin (Iowa State University, College of Design, Ames, Iowa, ZDA)

dr. Andrea Pödör (Univerza Óbuda, Székesfehérvár, Madžarska)

dr. Anton Prosen (Ljubljana, Slovenija)

dr. Dalibor Radovan (Geodetski inštitut Slovenije, Ljubljana, Slovenija)

dr. Fabio Remondino (Fondazione Bruno Kessler, 3DOM, Trento, Italija)

dr. Miodrag Roić (Univerza v Zagrebu, Fakulteta za geodezijo, Zagreb, Hrvaška)

dr. Balázs Székely (Univerza Eötvösa Loránd, Budimpešta, Madžarska)

dr. Bojan Šavrič (ESRI Ltd, Redlands, Kalifornija, ZDA)

dr. Maruška Šubic Kovač (Univerza v Ljubljani, Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo, Ljubljana, Slovenija)

dr. Joc Triglav (Geodetska uprava RS, Murska Sobota, Slovenija)

dr. Mihaela Triglav Čekada (Geodetski inštitut Slovenije, Ljubljana, Slovenija)

dr. Arvo Vitikainen (Univerza Aalto, Aalto, Finska)

dr. John C. Weber (Grand Valley State College, Department of Geology, Allendale, Michigan, ZDA)

dr. Klemen Zakšek (Rosen Group, Lingen, Nemčija)

EDITOR-IN-CHIEF

Anka Lisec, Ph.D.

University of Ljubljana, Faculty of Civil and Geodetic Engineering, Slovenia
Jamova cesta 2, SI-1000 Ljubljana, Slovenia
Phone: +386 1 4768 560
E-mail: editor@geodetski-vestnik.com

FIELD AND SUB-FIELD EDITORS

Sandi Berk, editor for the section Professional Discussions
Božo Koler, Ph.D., field editor for Engineering Geodesy
Mojca Kosmatin Fras, Ph.D., field editor for Photogrammetry
Klemen Kregar, Ph.D., field editor for Surveying
Božena Lipej, Ph.D., field editor for Real Estate Management and Recording
Krištof Oštir, Ph.D., field editor for Remote Sensing and Geoinformatics
Bojan Stopar, Ph.D., field editor for Satellite Geodesy and Geophysics
Alma Zavodnik Lamovšek, Ph.D., field editor for Spatial Planning

INTERNATIONAL EDITORIAL BOARD

Ivan R. Aleksić, Ph.D. (University of Belgrade, Faculty of Civil Engineering, Belgrade, Serbia)
Janja Avblej, Ph.D. (Eumetsat, Darmstadt, Germany)
Branislav Bajat, Ph.D. (University of Belgrade, Faculty of Civil Engineering, Belgrade, Serbia)
Tomislav Bašič, Ph.D. (University of Zagreb, Faculty of Geodesy, Zagreb, Croatia)
Giuseppe Borruso, Ph.D. (University of Trieste, DEAMS, Trieste, Italy)
Miran Brumec (Slovenian Chamber of Engineers)
Raffaella Cefalo, Ph.D. (University of Trieste, Department of Engineering and Architecture, Trieste, Italy)
Vlado Cetl, Ph.D. (EC, Joint Research Centre, Ispra, Italy)
dr. Joep Cromptvoets (KU Leuven, Public Governance Institute, Leuven, Belgium)
Marjan Čeh, Ph.D. (University of Ljubljana, Faculty of Civil and Geodetic Engineering, Ljubljana, Slovenia)
Walter Timo de Vries, Ph.D. (Technical University of Munich, München, Germany)
Urška Demšar, Ph.D. (University of St. Andrews, St. Andrews, Scotland, United Kingdom)
Samo Drobne, Ph.D. (University of Ljubljana, Faculty of Civil and Geodetic Engineering, Ljubljana, Slovenia)
Erna Flogie Dolinar, M.Sc. (Surveying and Mapping Authority of the Republic of Slovenia, Ljubljana, Slovenia)
Thomas Kalbro, Ph.D. (Royal Institute of Technology, Stockholm, Sweden)
Dušan Kogoj, Ph.D. (University of Ljubljana, Faculty of Civil and Geodetic Engineering, Ljubljana, Slovenia)
Žiga Kokalj, Ph.D. (ZRC SAZU, Institute of Anthropological and Spatial Studies)
Miran Kuhar, Ph.D. (University of Ljubljana, Faculty of Civil and Geodetic Engineering, Ljubljana, Slovenia)
Reinfried Mansberger, Ph.D. (University of Natural Resources and Life Sciences, IVFL, Vienna, Austria)
Leiv Bjarte Mjøse, Ph.D. (Bergen University College, Bergen, Norway)
Gerhard Navratil, Ph.D. (Vienna Technical University, Vienna, Austria)
Tomaž Petek (Surveying and Mapping Authority of the Republic of Slovenia)
Dušan Petrovič, Ph.D. (University of Ljubljana, Faculty of Civil and Geodetic Engineering, Ljubljana, Slovenia)
Alenka Poplin, Ph.D. (Iowa State University, College of Design, Ames, Iowa, USA)
Andrea Pódör, Ph.D. (Óbuda University, Székesfehérvár, Hungary)
Anton Prosen, Ph.D. (Ljubljana, Slovenia)
Dalibor Radovan, Ph.D. (Geodetic Institute of Slovenia, Ljubljana, Slovenia)
Fabio Remondino, Ph.D. (Fondazione Bruno Kessler, 3DOM, Trento, Italy)
Miodrag Roić, Ph.D. (University of Zagreb, Faculty of Geodesy, Zagreb, Croatia)
Balázs Székely, Ph.D. (Eötvös Loránd University, Budapest, Hungary)
Bojan Šavrič, Ph.D. (ESRI Ltd, Redlands, California, USA)
Maruška Šubic Kovač, Ph.D. (University of Ljubljana, Faculty of Civil and Geodetic Engineering, Ljubljana, Slovenia)
Joc Triglav, Ph.D. (Surveying and Mapping Authority, Murska Sobota, Slovenia)
Mihaela Triglav Čekada, Ph.D. (Geodetic Institute of Slovenia, Ljubljana, Slovenia)
Arvo Vitikainen, Ph.D. (Alto University, Aalto, Finland)
John C. Weber, Ph.D. (Grand Valley State College, Department of Geology, Allendale, Michigan, USA)
Klemen Zakšek, Ph.D. (Rosen Group, Lingen, Nemčija)

IZDAJATELJ

Zveza geodetov Slovenije

Zemljemerska ulica 12, SI-1000 Ljubljana, Slovenija
e-naslov: info@geodetski-vestnik.com

IZDAJATELJSKI SVET

mag. Blaž Mozetič, predsednik *Zveza geodetov Slovenije*
mag. Erna Flogie Dolinar, *Zveza geodetov Slovenije*
dr. Anka Lisec, *glavna in odgovorna urednica*
Sandi Berk, *urejanje rubrike Strokovne razprave*
dr. Mojca Foški, *tehnično urejanje in oblikovanje*

TEHNIČNO UREJANJE IN OBLIKOVANJE

dr. Mojca Foški, e-naslov: mojca.foski@fgg.uni-lj.si
Barbara Trobec, e-naslov: barbara.trobec@fgg.uni-lj.si
dr. Teja Koler Povh, e-naslov: teja.povh@fgg.uni-lj.si

LEKTORIRANJE

Manica Baša

UREJANJE SPLETNIH STRANI

dr. Klemen Kozmus Trajkovski
e-naslov: web@geodetski-vestnik.com

TISK

SIMPRO d.o.o., Brezovica

DISTRIBUCIJA

mag. Janez Goršič, e-naslov: janez.gorsic@fgg.uni-lj.si

TRŽENJE (OGLASNO TRŽENJE)

Zveza geodetov Slovenije
Zemljemerska ulica 12, SI-1000 Ljubljana
e-naslov: zveza.geodetov.slovenije@gmail.com

NAVODILA AVTORJEM

<http://www.geodetski-vestnik.com>

PUBLISHER

Association of Surveyors of Slovenia

Zemljemerska ulica 12, SI-1000 Ljubljana, Slovenia
e-mail: info@geodetski-vestnik.com

PUBLISHING COUNCIL

Blaž Mozetič, M.Sc., president and Erna Flogie Dolinar, M.Sc.,
the Association of Surveyors of Slovenia
Anka Lisec, Ph.D., *editor-in-chief*
Sandi Berk, *editor of the section Professional Discussions*
Mojca Foški, Ph.D., *technical editor and design*

TECHNICAL EDITOR AND DESIGN

Mojca Foški, Ph.D., e-mail: mojca.foski@fgg.uni-lj.si
Barbara Trobec, e-mail: barbara.trobec@fgg.uni-lj.si
Teja Koler Povh, Ph.D., e-mail: teja.povh@fgg.uni-lj.si

SLOVENE PROOFREADING

Manica Baša

WEB PAGE EDITING

Klemen Kozmus Trajkovski, Ph.D.
e-mail: web@geodetski-vestnik.com

PRINT

SIMPRO d.o.o., Brezovica

DISTRIBUTION

Janez Goršič, M.Sc., e-mail: janez.gorsic@fgg.uni-lj.si

MARKETING (ADVERTISING)

Association of Surveyors of Slovenia
Zemljemerska ulica 12, SI-1000 Ljubljana, Slovenia
e-mail: zveza.geodetov.slovenije@gmail.com

INSTRUCTIONS FOR AUTHORS

<http://www.geodetski-vestnik.com>

VSEBINA CONTENTS

UVODNIK | EDITORIAL

<i>Anka Lisec</i>	ZGODBE STORIES	163
<i>Blaž Mozetič</i>	GEODETSKI BONI SURVEYING VOUCHERS	166

RECENZIRANI ČLANKI | PEER-REVIEWED ARTICLES

<i>Danijel Majcen</i>	VZPOSTAVITEV PASIVNE KONTROLNE GNSS-MREŽE V SLOVENIJI CREATION OF A PASSIVE GNSS CONTROL NETWORK IN SLOVENIA	169
<i>Nedim Tuno, Simona Savšek, Admir Mulahusić, Dušan Kogoj</i>	ELEKTRONSKI TEODOLITI – RAZVOJ IN KLASIFIKACIJA ELECTRONIC THEODOLITES – DEVELOPMENT AND CLASSIFICATION	182
<i>Berkant Konakoğlu</i>	ANALIZA DEFORMACIJE JEZU Z ROBUSTNIMI UTEŽNIMI FUNKCIJAMI ANALYSIS OF DAM DEFORMATION WITH ROBUST WEIGHT FUNCTIONS	198
<i>Ivan Nestorov, Milan Kilibarda, Dragutin Protić</i>	OPTIMALNA KONFORMNA PROJEKCIJA ZA VSEEVROPSKO KARTIRANJE THE OPTIMAL CONFORMAL PROJECTION FOR PAN-EUROPEAN MAPPING	214
<i>Shaoqi Gong, Cunjie Zhang, Geshi Tang, Yehui Zhang, Jing Han</i>	GLOBALNA ANALIZA ATMOSFERSKIH REFRAKCIJSKIH PROFILOV IZ PREKRIVANJ RADIJSKIH SIGNALOV COMSIC GPS GLOBAL ANALYSIS OF ATMOSPHERIC REFRACTIVITY PROFILES FROM COSMIC GPS RADIO OCCULTATION SOUNDINGS	227

STROKOVNE RAZPRAVE | PROFESSIONAL DISCUSSIONS

<i>Joc Triglav</i>	TEKMOVANJE BARV V VEKTORSKIH KARTICAH COMPETITION OF COLOURS IN VECTOR CARDS	241
--------------------	---	-----

<i>Andreja Švab Lenarčič, Joc Triglav</i>	250
DELNA AVTOMATIZACIJA BRISANJA PORUŠENIH STAVB PARTIAL AUTOMATION OF LEVELLED BUILDINGS ERASURE	

<i>Boris Krotec</i>	257
50-LETNICA USTANOVITVE IN PRIČETKA DEJAVNOSTI LASTNE AEROSNEMALNE SLUŽBE V SLOVENIJI 50 YEARS FROM THE SETTING UP OF SLOVENIA'S OWN AERIAL SURVEY SERVICE	

<i>Jurij Režek, Sandi Berk</i>	265
20 LET PO OBDOBJU DUŠANA MIŠKOVIČA 20 YEARS AFTER THE DUŠAN MIŠKOVIĆ PERIOD	

NOVICE IZ STROKE NEWS FROM THE FIELD	269
---	-----

DRUŠTVENE NOVICE NEWS FROM SOCIETIES	277
---	-----

RAZNO MISCELLANEOUS	281
------------------------------	-----

DIPLOMI IN MAGISTERIJI NA ODDELKU ZA GEODEZIJO UL FGG, OD 1. 2. 2020 DO 30. 4. 2020

STRAN ZA POPRAVKE, ERRATA

NAPOVED GEODETSKEGA DNE

Slike na naslovnici:

Snemalna oprema nekdanjega Geodetskega zavoda SRS. V ozadju lastni letali: Piper Navajo Chieftain PA 31-350 v ospredju, za njim Cesasna 421-Golden Eagle.

Vir: Oddelek za aerofotografijo GZ SRS

ZGODBE STORIES

Anka Lisec

glavna in odgovorna urednica | Editor-in-chief

Ob pripravi in urejanju junijske številke Geodetskega vestnika, ki ponovno ponuja zanimive članke s področja znanstveno-raziskovalnega dela in iz stroke, me je tokrat pritegnila zanimiva zgodba. Zgodba, ki jo je težko spregledati, saj je močno zaznamovala razvoj fotogrametrije in daljinskega zaznavanja na Slovenskem. Naši kolegi so jo začeli z vzpostavitvijo prve ekipe za letalsko fotogrametrično snemanje – takrat v okviru Geodetskega zavoda SRS – pisati pred petdesetimi leti.

Vrata za razvoj fotogrametrije v Sloveniji je na široko odprl zvezni odlok o snemanju iz zraka in izmeritvi zemljišč (Uradni list SFRJ, št. 13/1970). S tem odlokom je bilo dovoljeno, da opravljajo snemanja iz zraka in razvijajo zračni fotografski material za izmeritev zemljišč ustanovljene delovne organizacije, državni organi, pristojni za geodetske zadeve, in vojaški zavodi, ki opravljajo geodetska dela. Snemanje iz zraka pa tudi obdelava in objava tako imenovanih aeroposnetkov ter drugih izdelkov so bili sicer strogo regulirani z jasnimi postopki za pridobivanje ustreznih dovoljenj in strogimi pravili glede objave podatkov. Pa vendarle – začela se je doba izjemno hitrega razvoja in uveljavljanja fotogrametrije pri nas, kjer smo ves čas ostajali visoko konkurenčni tudi na mednarodni ravni.

Čeravno smo imeli že pred tem izjemne, mednarodno prepoznavne znanstvenike in strokovnjake na področju fotogrametrije, je letalsko fotogrametrično snemanje v okviru Geodetskega zavoda SRS prineslo nove priložnosti za uveljavljanje raziskovalcev in strokovnjakov. Že pet let po ustanovitvi ekipe za letalsko snemanje smo v Sloveniji začeli izvajati ciklično aerosnemanje CAS, ki ga poznamo še danes. Z lastnim letalskim snemanjem so se razvijale ekipe za zajem in obdelavo fotogrametričnih podatkov, pojavljali so se novi izdelki, fotogrametrija pa se je močno utrdila tako v izobraževalnih kot raziskovalnih ustanovah in takratnih geodetskih organizacijah. Pomembna strateška odločitev pred petdesetimi leti, da se vlaga v razvoj razmeroma drage in nove tehnologije, je prispevala k mnogim uspehom slovenske fotogrametrije, izredno pomembno pri tem pa je izpostaviti, da smo vzporedno stalno skrbeli za visoko usposobljen kader. Takrat se najverjetneje niso niti zavedali, kako pomembna zgodba se piše.

Ob današnjih uspehih slovenske fotogrametrije in širšega daljinskega zaznavanja žal pogosto pozabimo na izjemne strateške odločitve, ki so jih pogumno sprejeli pred petdesetimi leti in so še kako zaznamovale desetletja razvoja stroke pri nas. Manj strateške so bile odločitve v dobi tranzicije, ko je visoko usposobljena ekipa za letalsko fotogrametrično snemanje delila klavno usodo s propadom prestrukturiranega in preimenovanega zavoda (op. Geodetski zavod Slovenije). Razlog je bojda bil v nerentabilnosti dejavnosti.

Takšna je pač prevladujoča logika družbene ureditve, za katero s(m)o se odločili pred tremi desetletji – teh prelomnih časov iz devetdesetih let preteklega stoletja se sicer ne spomnim dobro, saj sem takrat še obiskovala osnovnošolske klopi in sanjala, kako bom postala kozmonavtka ali astronautka. Tako tudi težko sodim, kaj je bilo prav in kaj narobe ...

Opazujem pa zgodbe, ki jih pišemo danes. Nekoliko s skrbjo ugotavljam, da največkrat zmaguje tisto, kar se spleča v danem trenutku, in ne tisto, kar bi bilo dobro na srednji in dolgi rok. To je žal pogosto uveljavljena logika sodobnega kapitalizma, ki ne le, da kroji naše trenutno življenje, ampak vpliva tudi na našo prihodnost in prihodnost naših zanamcev. Upam in verjamem pa, da današnji odločevalci na vodilnih mestih poznajo zgodbe iz preteklosti – uspešne in neuspešne, ki jim pomagajo pri strateškem razmišljanju in sprejemanju dobrih dolgoročnih rešitev.

Neverjetno simbolično je dejstvo, da ravno ob petdesetletnici vzpostavitve prve letalske ekipe na Slovenskem za fotogrametrično snemanje pričakujemo izstrelitev dveh slovenskih satelitov v orbito – mikrosatelita NEMO-HD in nanosatelita TRISAT. Kot smo poročali že v prvi številki letošnjega letnika, se je izstrelitev nekoliko zamaknila zaradi pandemije, a vse kaže, da bosta satelita utirjena še letos. Dejavnosti in odločitve, ki imajo potencial za dolgoročni uspeh in dobrobit skupnosti, je še več. A ne pozabite, zgodbe nastajajo tudi tiho, pri čemer se akterji mnogokrat niti ne zavedajo, da se sploh pišejo in da bodo nekoč o njih poročali. Pomembno je, da so to dobre in pozitivne zgodbe, o katerih bodo, če že, pisali s ponosom.

During the preparation and editorial work for the June issue of Geodetski Vestnik, which again brings to light a variety of interesting scientific and professional topics, a compelling story attracted my attention. It is difficult to overlook as it left a deep mark in the development of photogrammetry and remote sensing in Slovenia. Our colleagues started writing it five decades ago when they put together the first team for aerial photogrammetry – as part of the then Land Survey Institute of the Socialist Republic of Slovenia.

The federal ordinance on aerial photography and land measurements (Official Gazette of SFRY No. 13/1970) opened the door for the development of photogrammetry in Slovenia. It allowed officially established entities, state authorities competent for land surveying, and military institutions that performed land surveying duties to take aerial photographs and develop aerial photographic material for land measurement. Taking aerial photographs as well as processing and publication of so-called aerial shots and other products were strictly regulated with clearly established formal procedures to obtain the necessary permissions and strict rules on the publication of data – this marked the beginning of the extremely rapid development of photogrammetry in Slovenia, with its continued strong competitive international position ever since.

Of course, there were some exceptional and internationally recognized scientists and professionals in the field even before that; nevertheless, it is a fact that aerial photogrammetry undertaken by the Land Survey Institute of the Socialist Republic of Slovenia opened up opportunities for researchers and professionals to gain recognition. Within a short five years after the team for aerial photography was established in Slovenia, they started undertaking cyclical aerial surveys (CAS) that are still carried out today. A national service for aerial photography enabled the development of teams for capturing and processing of photogrammetric data, the emergence of

new products, photogrammetry as science found a firm footing in educational and research institutions, and land-surveying entities of the time. Fifty years ago, an important strategic decision to invest in the development of relatively expensive and new technology contributed to many successful outcomes in photogrammetry in Slovenia, and the constant attention devoted to the development of highly trained professionals must not be forgotten. It might even be the case that those involved were not fully aware of how important the story they were writing was.

Unfortunately, with all the accomplishments in photogrammetry in Slovenia and remote sensing as a whole, we tend to forget about exceptional strategic decisions that were bravely taken five decades ago and have more than decisively influenced several decades of professional development in the country. Less strategic were some decisions in the period of economic transition, when a highly trained team for aerial photogrammetry shared the grim fate with the institution that collapsed after it had been restructured and its name had been changed (i.e., Land Survey Institute of Slovenia). Apparently, it was impossible to ensure its economic viability. At present, that is the rationale of the social and economic system that we (they) chose three decades ago. I admit that my memories on the critical 1990s are hardly relevant as I was still attending primary school and dreaming of becoming a cosmonaut or an astronaut one day. So, it is difficult for me to judge what was right and what was wrong.

However, I closely follow the stories that are being written today. I find it rather disturbing that things that are profitable at a given moment mostly prevail over things that would prove useful in the mid-to-long term. Unfortunately, this is often the prevalent rationale behind modern capitalism that not only shapes our lives but also affects our future and the future of our descendants. I hope and I believe that decision-makers in prominent positions are familiar with the stories from the past – successful and unsuccessful – and consider them when applying strategic thinking and taking prudent long-term decisions.

The fact that now, when we are expecting the launching of two Slovenian satellites into orbit – microsatellite NEMO-HD and nanosatellite TRISAT – fifty years have passed since the establishment of the first photogrammetric team in Slovenia is incredibly symbolic. As we stated in this year's first issue, the covid-19 pandemic temporarily suspended the launch, but now it seems that the satellites will be put into their orbits before the end of this year. Many more activities and decisions that bear the potential for long-term success exist. Do not forget, however, that some stories are also being born in silence; those involved are often not even aware that they are writing them and that they will be talked about sometime in the future. What matters most is that these stories be good, be positive; that the people who might write about them in the future will be proud to do so.

GEODETSKI BONI SURVEYING VOUCHERS

Blaž Mozetič

predsednik Zveze geodetov Slovenije | president of the Association of Surveyors of Slovenia

Ali si predstavljate, da bi se v enem od zakonov o interventnih ukrepih za omilitev in odpravo posledic epidemije covid-19, ki se sprejemajo v Sloveniji, znašel tudi člen, ki bi opredeljeval geodetske bone? Denarni znesek si zamislite sami: za podporo boljši pravni varnosti lastnikov nepremičnin, posodobitev in ureditev nepremičninskih evidenc ter izboljšanje medsosedskih odnosov, saj so lastniki nepremičnin v času posebnih ukrepov zaradi razglašene epidemije imeli večinoma omejeno gibanje na domači nepremičnini in so zato do zadnjega kotička prehodili stanovanje ali vrt družinske hiše ter ugotovili, da bi bilo dobro kaj postoriti iz naslova dolžnosti in izključnih pravic ter interesa lastnika nepremičnine. Torej urediti in ažurirati podatke o nepremičnini, se pravi jasno opredeliti meje svojih pravic.

Seveda bi geodetske bone lastniki žal lahko uveljavljali le za nekatera področja geodetskih storitev – katastrske storitve, sodobna država mora namreč zagotavljati osnovne pogoje in taka država je tudi prepričana, da so na eni strani lastnikom nepremičnin dobro poznane njihove pravice in dolžnosti ter da so na drugi strani usposobljeni in prodorni ponudniki geodetskih storitev zelo zainteresirani in znajo prepričljivo ponuditi dodatne »samoplačniške« storitve, ki lastnikom nepremičnin zagotavljajo umirjeno uživanje pravic na nepremičnini do njene pravne meje. Poleg ponudnikov geodetskih storitev na nepremičninskem področju, ki jih lahko opredelimo kot del javne geodetske službe, bi bila posebnega geodetskega bona deležna tudi geodetska uprava, kajti brez dobre in urejene infrastrukture se v zemljiški administraciji ne pride prav daleč.

V obrazložitvi tega člena bi pisalo, da bodo rezultat urejene in znane meje pravic na nepremičninah; zavedati se moramo, da posredno govorimo o človekovih pravicah in ustavnih določbah, ki se nanašajo na pojem zasebne lastnine, da je to osnova trajnostnemu razvoju družbe tako v človeškem kot gospodarskem smislu. Pisalo bi tudi, da je javna geodetska služba zaradi svoje strokovnosti, kompetentnosti, visoke integritete, korektnosti in pomembnosti v sistemu državne administracije ključna pri ponovnem zagonu gospodarstva.

Mediji bi morda v svoji službeni skeptičnosti in novinarski radovednosti geodetskim subjektom zastavljali številna vprašanja v zvezi z izvedljivostjo tako velikega projekta, zadostnimi kadrovske in drugimi zmogljivostmi, strokovnostjo in usposobljenostjo kadra, časovnimi okviri, informacijskimi sistemi in podporo, odpravo birokratskih ovir ... Ne bi se pa bilo mogoče izogniti vprašanjem bolj komercialne tematike, kot so cene storitev, posebne ponudbe, popusti in morebitne podražitve, ter tudi čisto uradniškimi temam, kot so trajanje postopkov, zaostanki in birokratizacija.

Kot vedno bi se našli tudi dvomljivci in nergači, ki ne bi bili zadovoljni z načinom reševanja geodetske problematike, razlagali bi, da je težav in področij še več, a zaradi njim neznanih razlogov niso zajeti v določbah zakona, čeprav bi bilo to nujno. Pojavila bi se tudi najrazličnejša vprašanja: ali je predvideni znesek geodetskega bona dovoljšen, saj so na primer parcele označene z različnim številom in vrstami mejnih znamenj, dostop in pogoji za meritve so tudi zelo raznovrstni, lastniki imajo več nepremičnin, težave s solastniki ...

Spoštovane kolegice in kolegi, jaz si z lahkoto predstavljam vse to (pa ni nujno, da v povezavi z boni), ampak žal v oddaljeni prihodnosti, ko bo tudi geodetska stroka dozorela v spoznanju, kaj je njeno pravo poslanstvo na področju zemljiške administracije, in ko bo družba končno ugotovila ter ponotranjila, da so urejene meje pravic na nepremičninah svete in da je to tudi temelj dobrih družbenih odnosov ter jamstvo proste gospodarske (s)pobude na trgu znanja, idej, konceptov, rešitev, kapitala, lastnine ter ne nazadnje umetnost ponudbe in povpraševanja.

Ostanite zdravi in srečno!

Can you imagine that one of the acts on the intervention measures to mitigate and prevent the consequences of the covid-19 epidemic that are being adopted in Slovenia at the moment would include an article on surveying vouchers? Feel free to choose their value: be they intended to support the legal certainty of property owners; to update and maintain property registers; to improve relations with neighbours. In the period when measures to cope with the epidemic were in force, the movements of property owners were mostly limited to their properties, which allowed them to explore every nook and cranny of their apartments or gardens around their family houses; and to establish that it would not harm if they invested some of their energy into the duties, exclusive rights, and interests of a property owner. In essence, this means to compile and update the data associated with their property, which is to state the boundaries of their rights clearly.

As might be expected, surveying vouchers could, unfortunately, be used only in some areas of the mapping and surveying profession, mainly for cadastral services. As is, the state is obliged to create the basic conditions; besides, such a state has no doubts that, on the one hand, property owners are well informed about their rights and obligations and, on the other hand, providers of surveying services are properly trained and resourceful, they are highly engaged and know how to offer additional, 'self-paid' services that enable property owners to enjoy their property rights up to their legal boundaries calmly. Apart from surveying entities operating in the real-estate market that might be considered a part of public land surveying services, a special surveying voucher would be issued in favour of the Slovenian surveying mapping and authority as no real progress in land administration is possible without good and orderly infrastructure.

The reasons for the inclusion of the above-mentioned concept would include formally established and known boundaries of property rights; the issue is linked to human rights and constitutional provisions that apply to private property; it is the foundation of the sustainable development of the society, be it for people or economy. It would also be stated that the public surveying and mapping authority, with its high professional standards, competencies, high levels of integrity, regularity, and importance in the system of public administration, is of central importance for rebuilding the economy.

It might happen that journalists, bound by their professional scepticism and curiosity, would ask many questions about the feasibility of the project of this size; about the sufficient human and other resources, professional capacities, and skills of employees; about timelines, information systems and support; about the elimination of bureaucratic obstacles, and similar. It would by no means be possible to evade economic questions, for example on the price of the service, special offers, discounts, and possible increases in prices; and there are also some purely administrative issues as the length of procedures, backlogs, and unnecessarily bureaucratic procedures.

As always in such cases, doubters and grumblers would emerge; they would be highly discontent with solutions for surveying issues. They would go on to explain that there are more problems, more areas that are extremely urgent but have not been included in the legislation. Numerous other questions would emerge: is the amount of the surveying voucher sufficient, as different plots of land contain different numbers and types of survey markers; some plots are not easily accessible, the surveying conditions might differ considerably; some owners have several properties; there are co-owners and so on.

Dear Colleagues, for me it is extremely easy to imagine all this (not necessarily in connection with vouchers), but unfortunately only in the remote future, when the surveying profession will mature with the recognition of its true meaning in land administration; when society will finally realize and welcome the presumption that regulated boundaries of rights on properties are sacred, that they are the foundation of sound social relationships; that they assure free economic initiative and stimulus in the markets of knowledge, ideas, concepts, solutions, capital, property, and, last but not least, that this is where the art of supply and demand comes in.

Stay healthy and good luck!

VZPOSTAVITEV PASIVNE KONTROLNE GNSS-MREŽE V SLOVENIJI

CREATION OF A PASSIVE GNSS CONTROL NETWORK IN SLOVENIA

Danijel Majcen

UDK: 528.2(497.4)
Klasifikacija prispevka po COBISS.SI: 1.04
Prispelo: 31. 1. 2020
Sprejeto: 23. 5. 2020

DOI: 10.15292/geodetski-vestnik.2020.02.169-181
PROFESSIONAL ARTICLE
Received: 31. 1. 2020
Accepted: 23. 5. 2020

IZVLEČEK

V prispevku je obravnavana idejna zasnova in izvedba projekta vzpostavitve kontrolne GNSS-mreže na območju Republike Slovenije. Kontrolne točke bodo namenjene nadzoru kakovosti delovanja omrežja SIGNAL ter preverjanju kakovosti metod in merilne opreme za določanje položaja z GNSS. Opisani so stabilizacija in izbor lokacij kontrolnih točk. Predstavljena je določitev referenčnih koordinat kontrolnih točk. Narejena je primerjava koordinat kontrolnih točk v referenčnih koordinatnih sistemih D96/TM in D96-17/TM. Narejena je tudi primerjava določitve koordinat kontrolnih točk na podlagi 24-urnih statičnih meritev, in sicer z navezavo na: 1) bližnje stalne postaje omrežja SIGNAL in 2) virtualno referenčno postajo (VRS; angl. virtual reference station) v neposredni okolici posamezne točke.

ABSTRACT

This paper describes the conceptual design and the implementation of the project of establishing a GNSS control network in the territory of the Republic of Slovenia, which will be used to monitor the quality of the SIGNAL network products and services and to verify the quality of methods and measurement equipment for GNSS positioning. The stabilization process and the selection of locations of GNSS points are described. The determination of the reference coordinates of GNSS points is presented. A comparison of coordinates of the GNSS points in the coordinate reference systems D96/TM and D96-17/TM is made. A comparison of coordinates determined from 24-hour static measurements is also made, by using baselines 1) to the nearest SIGNAL stations and 2) to a virtual reference station (VRS) in the immediate neighbourhood of each point.

KLJUČNE BESEDE

kontrolna mreža, kontrolna točka, točnost, statična GNSS-izmera, VRS z naknadno obdelavo

KEY WORDS

accuracy, control network, control point, static GNSS measurement, post-processing VRS

1 UVOD

V Republiki Sloveniji od 1. 1. 2008 uporabljamo referenčni koordinatni sistem D96/TM. Od 1. 1. 2020 uporabljamo nove, izboljšane koordinate z oznako D96-17/TM (Obvestilo, 2019). Določanje položaja geodetskih točk v D96-17/TM lahko izvajamo z uporabo produktov in storitev omrežja SIGNAL, ki ga sestavlja 16 stalnih GNSS-postaj na območju Slovenije (SIGNAL, 2020). Od omrežja SIGNAL uporabniki dobivajo popravke GNSS-opazovanj za izračun natančnega položaja v realnem času. Na izračun položaja pri uporabniku vplivajo različni dejavniki: modeliranje vplivov ionosfere in troposfere, hitrost prenosa popravkov do uporabnika, kakovost merilne opreme, odboji signalov (večpotje), programska oprema omrežja SIGNAL, nepredvideni dogodki itd.

Na Geodetski upravi Republike Slovenije smo vzpostavili kontrolno GNSS-mrežo z namenom preverjanja pravilnosti delovanja omrežja SIGNAL, za testiranje merilne opreme in metod izmere ter za izobraževalne namene. Kontrolno GNSS-mrežo sestavljajo trajno stabilizirane geodetske točke (v nadaljevanju: kontrolne točke). Na vsaki kontrolni točki smo izvedli 24-urno statično GNSS-izmero. Surova opazovanja smo pretvorili v datoteke formata RINEX 3.02. Prav tako smo za pripadajoče časovne intervale pridobili podatke meritev na stalnih postajah omrežja SIGNAL in jih obdelali s programom Leica Infinity. Tako smo za vsako točko posebej določili referenčne koordinate kontrolnih točk. Kontrolne točke bodo namenjene nadzoru kakovosti delovanja omrežja SIGNAL. Na voljo so tudi za preverjanje kakovosti merilne opreme in metod izmere z GNSS – uporabljajo jih lahko tudi geodetska podjetja in drugi uporabniki GNSS-tehnologije.

2 PROJEKT KONTROLNE GNSS-MREŽE

Za določitev števila kontrolnih točk smo izhajali iz površine Slovenije, ki znaša 20.273 km². Za ciljno gostoto smo izbrali eno točko v kvadratu s stranico 20 km, kar pomeni, da za celotno državo potrebujemo približno 50 kontrolnih točk. Za izbor mikro- in makrolokacij točk smo upoštevali pogoje, da:

- enakomerno pokrivajo ozemlje celotne države,
- so brez fizičnih ovir, ki bi onemogočale sprejem signalov GNSS,
- so dostopne z osebnim avtomobilom,
- je mogoča stabilizacija na javni infrastrukturi,
- so nekatere na večjih nadmorskih višinah (900 m in več),
- so na različnih oddaljenostih od stalnih postaj omrežja SIGNAL,
- se po možnosti uporabijo primerne že obstoječe gravimetrične točke in točke za vpetje geoida.

Točke 1. reda in geodinamične točke za ta namen niso primerne (težko dostopne, stabilizacija na stebru ali kovinski drog – pogosto privijanje slednjega lahko uniči navoje). Na podlagi zgornjih pogojev smo izdelali projekt predvidenih makrolokacij za 42 kontrolnih točk (slika 1).

Na sliki 1 so z zelenimi, modrimi in rdeči krogi premera 20 kilometrov prikazane predvidene lokacije kontrolnih točk po skupinah. Prikazane so še obstoječe stalne postaje omrežja SIGNAL in točke za vpetje geoida.

Glede na namen in uporabo smo lokacije točk razvrstili v tri skupine:

- V prvi skupini so kontrolne točke, ki so že stabilizirane in so bile uporabljene za vpetje geoida. Središča rdečih krogov, ki jih je 14, so obstoječe točke, ki bi bile primerne (stabilizirane so s kovinskimi čepki). Točke so internega značaja in jih uporablja le geodetska uprava za svoje potrebe.

Način testiranja in analiza kakovosti določanja položaja z metodo RTK sta – skladno s standardom ISO 17123-8 – podrobno opisana v članku Pavlovčič Prešeren in sod. (2010).

3 STABILIZACIJA IN IZMERA KONTROLNE GNSS-MREŽE

Sledita opis stabilizacije kontrolnih točk na izbranih lokacijah in opis GNSS-izmere za določitev njihovih referenčnih koordinat.

3.1 Stabilizacija točk

Kontrolne točke iz prve in druge skupine so stabilizirane s kovinskim čepkom dolžine okoli 4 centimetre (slika 3), nekatere pa tudi s talnim reperjem. Stabilizirane so v trdne površine, kot so skala, beton in podobno. Kontrolne točke iz tretje skupine so stabilizirane na dobro utrjenih ravnih javnih površinah, predvsem v beton, redkeje tudi v asfalt. Za stabilizacijo je uporabljen talni reper dolžine od 10 do 19 centimetrov z luknjico (slika 4). Primera vgradnje kovinskega čepka in talnega reperja sta prikazana na slikah 5 in 6.



Slika 3: Medeninasti kovinski čepok.



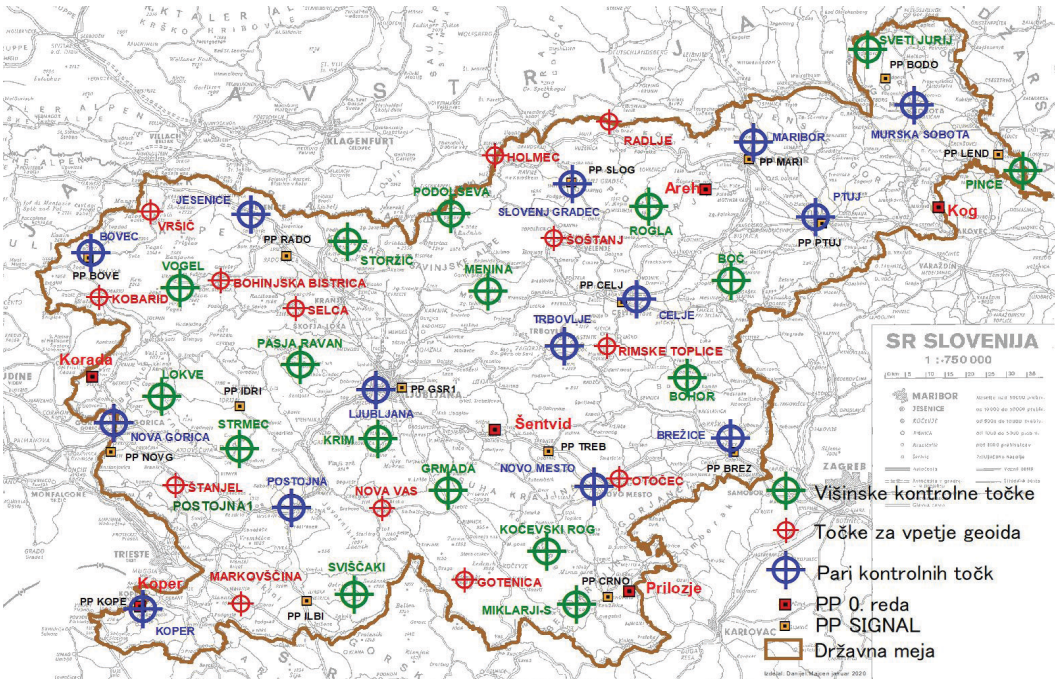
Slika 4: Talni reper z vgravirano luknjico.



Slika 5: Kovinski čepok, vgrajen v skala.



Slika 6: Talni reper, vgrajen v beton.

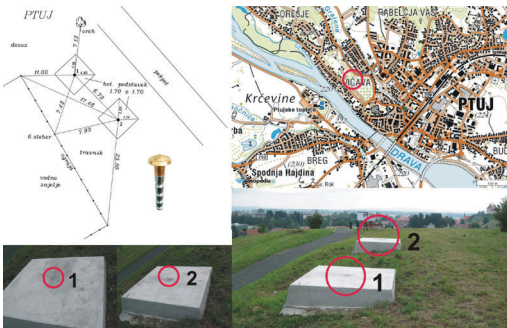


Slika 7: Grafični prikaz realizirane pasivne GNSS-mreže kontrolnih točk.

Na sliki 7 so prikazane v letu 2017 stabilizirane pasivne kontrolne točke. Stabiliziranih je 17 višinskih in obmejnih kontrolnih točk (zelene barve), 14 parov kalibracijskih kontrolnih točk (modre barve) in 13 kontrolnih točk, ki so služile za vpetje geoida (rdeče barve). Skupno število vseh kontrolnih točk je 44 oziroma 58 (17 + 13 + 2 × 14).

3.2 Izvedba meritev na kontrolnih točkah

Po končani stabilizaciji smo za vsako kontrolno točko izdelali topografijo (slika 8) in opravili 24-urno statično GNSS-izmero. Postavitve instrumenta je bila vedno izvedena na stativ (slika 9). Za pare kontrolnih točk je bila statična GNSS-izmera opravljena istočasno. Za statično izmero smo uporabili GNSS-sprejemnik JAVAD TRIUMPH-LS2 z anteno JAV-RINGANT G3T. Uporabljena sta bila interval registracije 30 s in višinski kot 10°.



Slika 8: Primer izdelane topografije.



Slika 9: Primer postavitve instrumenta.

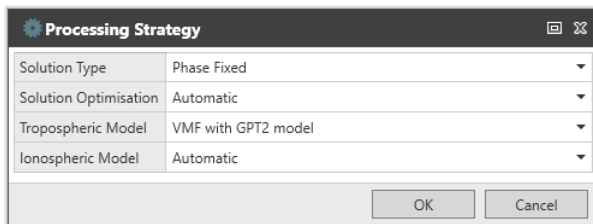
4 IZRAČUNI IN ANALIZE KOORDINAT KONTROLNIH TOČK

Sledita opis metodologije za izračune koordinat kontrolnih točk in predstavitev njihovih analiz.

4.1 Metodologija izračuna referenčnih koordinat

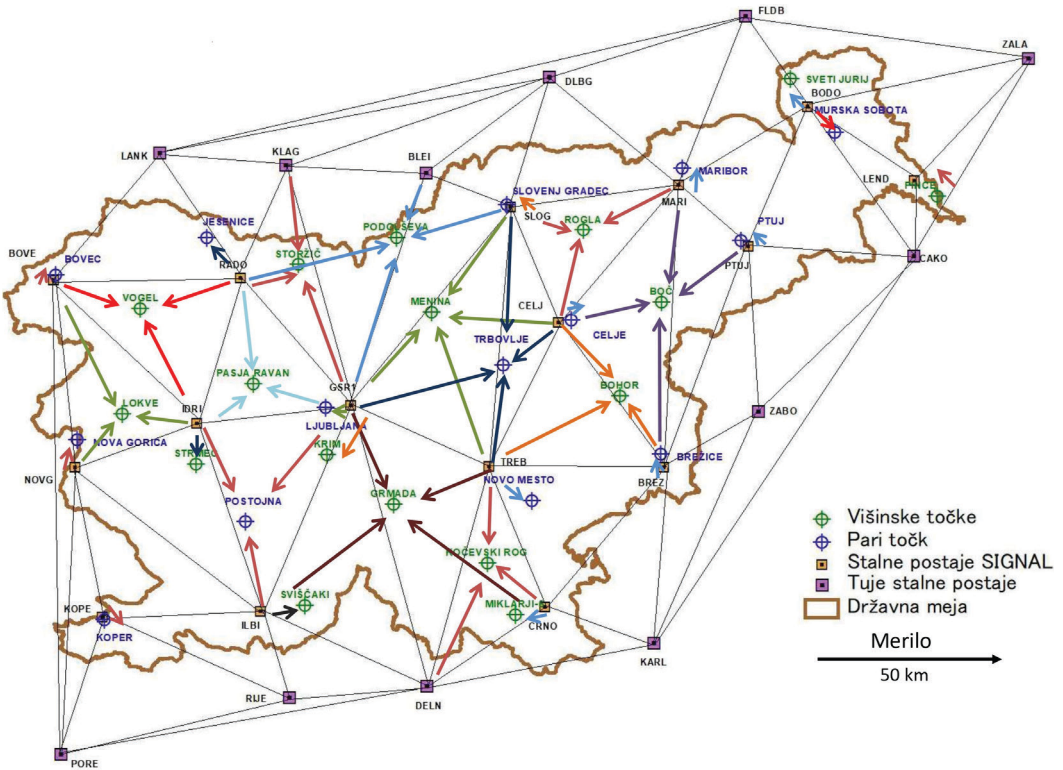
Za izračun referenčnih koordinat kontrolnih točk smo uporabili programski paket Leica Infinity, različica 3.3.0 (Leica Infinity, 2020). Izračun smo izvedli posebej za vsako kontrolno točko, ker opazovanja na kontrolnih točkah niso bila opravljena istočasno, razen za pare kontrolnih točk iz tretje skupine. Druga možnost, ki pa v našem primeru ni bila mogoča, bi bila mrežna izravnava kontrolnih točk, ki ne da bistveno boljših rezultatov (Häkli in sod., 2013). Uporabili smo naslednjo metodologijo:

- Kontrolna točka, ki se nahaja do 15 kilometrov od najbližje stalne postaje omrežja SIGNAL, je določena z enim samim baznim vektorjem.
- Za ostale kontrolne točke (oddaljene več kot 15 kilometrov) so izračunani vektorji iz treh ali štirih najbližjih stalnih postaj omrežja SIGNAL (slika 11); uporabljena je izravnava po metodi najmanjših kvadratov.
- Posebnost pri parih kontrolnih točk je, da sta točki merjeni istočasno, zato je uporabljen tudi kratek bazni vektor med kontrolnima točkama; razdalje med njima so bile zelo kratke, od 2,47 do 19,41 metra in z višinsko razliko do 0,22 metra. Konkretna obdelava 24-urnih meritev je dala standardne odklone do 0,0002 metra.
- Pri določitvi vseh baznih vektorjev so uporabljene precizne efemeride IGS in višinski kot 15° . Precizne efemeride vključujejo položaje GPS- in GLONASS-satelitov. Pridobljene so samodejno s programskim paketom Leica Infinity.
- Za obdelavo baznih vektorjev smo vnesli popravljene višine do ARP (angl. antenna reference point). Za antene smo uporabili kalibracijski set »NGS14 absolute« (National Geodetic Survey).
- Za izračun kratkih baznih vektorjev (do 15 kilometrov) so uporabljene privzete nastavitve (slika 10), za daljše vektorje (najdaljši meri 46,7 kilometra) in vektorje z večjimi višinskimi razlikami je uporabljena možnost ocene vpliva troposfere – možnost »Computed« (Wielgosz in sod., 2011; Ritlop, 2017). Pri tej možnosti vrednosti troposferske refrakcije ocenjujemo na podlagi uporabljenih opazovanj, kar je najustreznejša rešitev, ko imamo zagotovljenih dovolj opazovanj.



Slika 10: Privzete nastavitve za obdelavo vektorjev v programskem paketu Leica Infinity, 3.3.0.

Vsi uporabljeni bazni vektorji za določitev referenčnih koordinat kontrolnih točk so prikazani na sliki 11.



Slika 11: Prikaz uporabljenih vektorjev za izračun kontrolnih točk.

4.2 Rezultati in analiza kakovosti koordinat kontrolnih točk v realizaciji D96-17/TM in D96/TM

Izvedena je bila tudi primerjava izračunov referenčnih koordinat kontrolnih točk, ki se nanašajo na D96/TM, in referenčnih koordinat kontrolnih točk, določenih z uporabo novih, izboljšanih koordinat stalnih postaj omrežja SIGNAL v D96-17/TM.

V preglednici 1 so prikazani standardni odkloni koordinat (σ_e , σ_n , σ_h) trinajstih kontrolnih točk po izravnavi vsake posamezne točke. Vseh trinajst točk je izračunanih v dveh realizacijah koordinatnega sistema D96-17/TM in D96/TM. Izračunani bazni vektorji do novih točk so bili v obeh izračunih identični. Edino razliko pri izravnavi opazovanj prinašajo spremenjene koordinate danih točk – stalnih postaj omrežja SIGNAL. To pomeni, da so v prvem primeru vzete novejše koordinate stalnih postaj (D96-17/TM), v drugem primeru pa stare koordinate stalnih postaj (D96/TM). Rumeno obarvana polja prikazujejo največje vrednosti.

Preglednica 1: Ocena kakovosti koordinat kontrolnih točk po izravnavi.

TOČKA	D96-17/TM			D96/TM			D96-17/TM-D96/TM		
	σ_e [m]	σ_n [m]	σ_h [m]	σ_e [m]	σ_n [m]	σ_h [m]	Δe [m]	Δn [m]	Δh [m]
BOČ	0,0011	0,0014	0,0098	0,0023	0,0031	0,0209	0,0034	-0,0088	0,0046
BOHOR	0,0015	0,0020	0,0132	0,0025	0,0033	0,0226	0,0061	-0,0080	0,0062
GRMADA	0,0011	0,0015	0,0099	0,0021	0,0028	0,0184	0,0086	-0,0123	0,0070
LOKVE	0,0007	0,0009	0,0062	0,0007	0,0009	0,0062	0,0035	-0,0206	0,0080
MENINA	0,0015	0,0020	0,0135	0,0030	0,0040	0,0265	0,0047	-0,0151	0,0104
PODOLŠEVA	0,0012	0,0016	0,0113	0,0024	0,0033	0,0230	0,0029	-0,0239	0,0124
POSTOJNAI	0,0016	0,0021	0,0045	0,0029	0,0038	0,0080	0,0063	-0,0162	0,0098
PASJA RAVAN	0,0027	0,0036	0,0234	0,0035	0,0046	0,0303	0,0028	-0,0159	0,0099
ROGLA	0,0015	0,0019	0,0128	0,0035	0,0046	0,0306	0,0044	-0,0140	0,0107
STORŽIČ	0,0008	0,0010	0,0068	0,0017	0,0022	0,0155	0,0019	-0,0198	0,0078
TRBOVLJEI	0,0016	0,0022	0,0147	0,0030	0,0040	0,0264	0,0044	-0,0134	0,0102
VOGEL	0,0012	0,0016	0,0108	0,0018	0,0024	0,0160	0,0010	-0,0288	0,0060
KOČEVSKI ROG	0,0014	0,0018	0,0125	0,0100	0,0131	0,0889	-0,0062	-0,0183	0,0049
ARIT. SRED. σ [m]	0,0014	0,0018	0,0115	0,0030	0,0040	0,0256			
ODSTOTEK σ	54,6%	54,7%	55,2%						
MAX. VRED. σ [m]	0,0027	0,0036	0,0234	0,0100	0,0131	0,0889	0,0086	-0,0288	0,0124

Pri kontrolnih točkah, ki so izračunane z enim samim baznim vektorjem, ni bilo izravnave vektorjev, zato niso vključene v preglednico. V preglednici 1 so izračunane tudi razlike koordinat kontrolnih točk iz obeh realizacij koordinatnega sistema po naslednjih formulah:

$$\Delta e = e_{D96-17} - e_{D96} \quad (1)$$

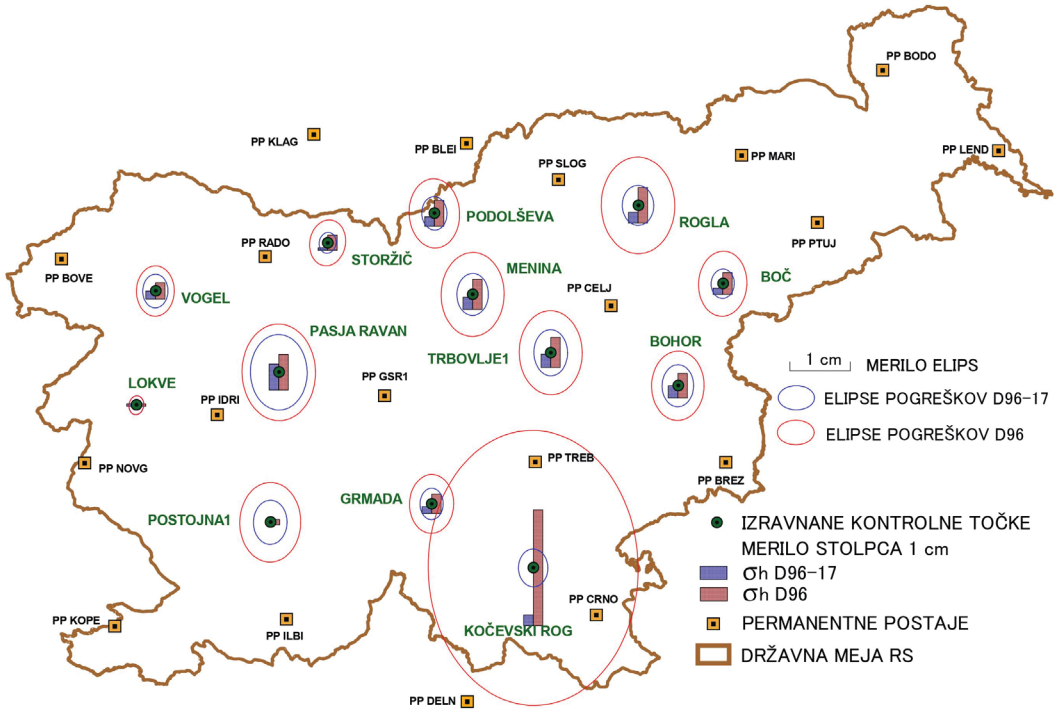
$$\Delta n = n_{D96-17} - n_{D96} \quad (2)$$

$$\Delta h = h_{D96-17} - h_{D96} \quad (3)$$

V tabeli je izračunan povprečni odstotek zmanjšanja vrednosti standardnega odklona koordinat e , n in višine h kontrolnih točk glede na realizacijo D96/TM. Izračunan je po naslednji formuli:

$$ODSTOTEK \sigma = \left[1 - \frac{ARIT.SRED \sigma (e, n, h)_{D96-17}}{ARIT.SRED \sigma (e, n, h)_{D96}} \right] \cdot 100 \quad (4)$$

ODSTOTEK σ nam na primeru 13 kontrolnih točkah pokaže povprečno 55-odstotno izboljšanje standardnih odklonov koordinat v realizaciji D96-17/TM. Na podlagi tega lahko sklepamo, da so dane koordinate stalnih postaj omrežja SIGNAL v realizaciji D96-17/TM bolj točne glede na predhodno realizacijo D96/TM. Realizacija D96/TM temelji na meritvah, ki so bile izvedene pred dvajsetimi leti. Novejša realizacija D96-17/TM temelji na meritvah GNSS izmere »EUREF Slovenija 2016«. V tako dolgem časovnem obdobju so že zaznavni vplivi geodinamičnih premikov, ki spreminjajo relativna geometrijska razmerja med točkami, poleg tega je razlog za dobljena odstopanja koordinat naknadna določitev koordinat stalnih postaj omrežja SIGNAL, ki ni bila neposredno vezana na EUREF-točke prvotne realizacije (Medved in sod., 2018; Berk in sod., 2020).

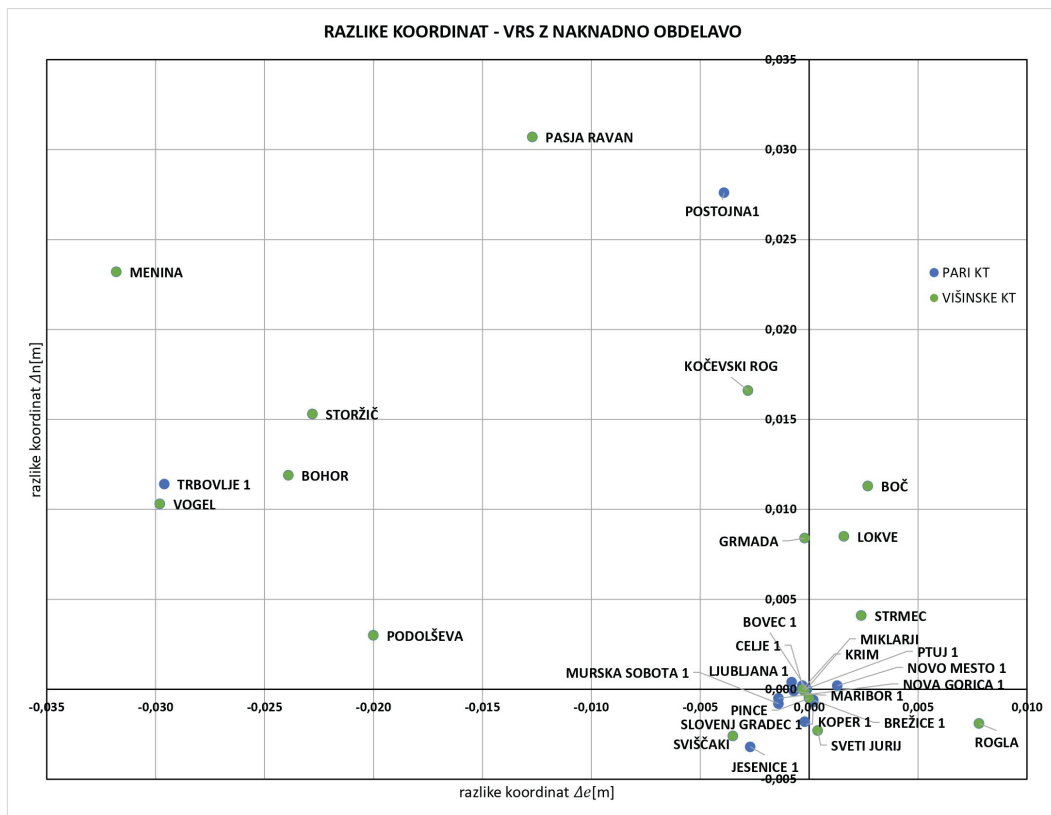


Slika 12: Prikaz standardnih elips pogreškov in posebej natančnosti po višini izračunanih kontrolnih točk v D96/TM in D96-17/TM (2D 39,4 %, 1D 68,3 %).

S slike 12 se vidi, da je izboljšanje na točki KOČEVSKI ROG najboljše, pri točki LOKVE pa ni spremembe. Pri točki KOČEVSKI ROG je prišlo do največje spremembe zaradi večjega popravka koordinat stalne postaje DELNICE, in sicer po E-osi za 2,8 centimetra in po N-osi za 3,5 centimetra.

4.3 Primerjava referenčnih koordinat kontrolnih točk s koordinatami, dobljenimi z navezavo na bližnjo virtualno referenčno postajo

Izvedena je bila primerjava referenčnih koordinat kontrolnih točk v D96/TM – njihova določitev je opisana v predhodnem podpoglavju – in koordinat identičnih točk, določenih z navezavo na bližnjo virtualno referenčno postajo (v nadaljevanju: VRS); največja oddaljenost slednje je bila 50 metrov. Za vsako VRS smo pridobili podatke omrežja SIGNAL v obliki RINEX-datotek, različica 3.02, za vseh 24 ur opazovanj (z GPS- in GLONASS-satelitov). V tem primeru smo torej kontrolne točke izračunali na podlagi kratkega vektorja od VRS, ki je v izračunu vzeta kot dana točka. Podatke VRS smo pridobili pred uveljavitvijo novih koordinat stalnih postaj omrežja SIGNAL.



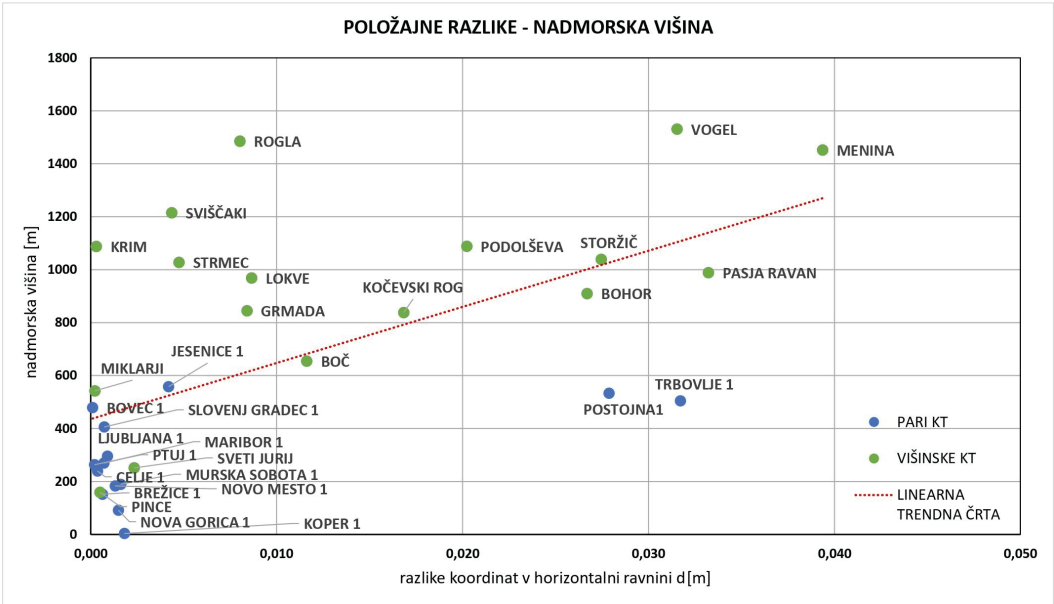
Slika 13: Grafični prikaz razlik med referenčnimi koordinatami kontrolnih točk in koordinatami, izračunanimi z VRS.

Referenčne koordinate kontrolnih točk so izračunane iz 24-urnih statičnih GNSS-meritev z navezavo na stalne postaje omrežja SIGNAL (RS). Prav tako so iz istih 24-urnih meritev izračunane koordinate z navezavo na VRS. Razlike koordinat so izračunane po naslednjih enačbah:

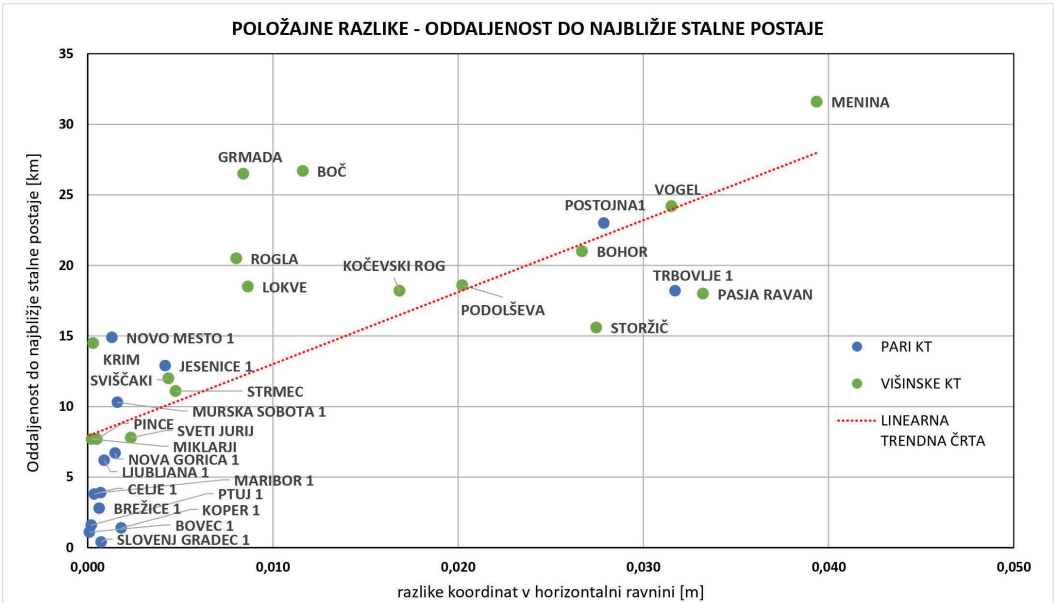
$$\Delta e = e_{RS} - e_{VRS} \tag{5}$$

$$\Delta n = n_{RS} - n_{VRS} \tag{6}$$

S slike 13 je razvidno, da se največje koordinatne razlike pojavljajo na kontrolnih točkah, označenih z zeleno barvo (na večjih nadmorskih višinah), in na kontrolnih točkah z večjo oddaljenostjo od najbližje stalne postaje omrežja SIGNAL. Ostale točke imajo zanemarljiva odstopanja velikosti do 5 milimetrov. Kot je razvidno s slike 13, je največje odstopanje na točki MENINA, in sicer po E-osi za 3,2 centimetra, po N-osi za 2,3 centimetra in 3,9 centimetra po višini. Razlog za večje razlike na nekaterih kontrolnih točkah bi tako pripisali načinu vzpostavitve točke VRS in drugačnemu načinu določitve modela.



Slika 14: Grafični prikaz položajnih razlik kontrolnih točk, določenih z navezavo na bližnjo VRS, glede na nadmorsko višino točk.



Slika 15: Grafični prikaz položajnih razlik kontrolnih točk, dobljenih z navezavo na bližnjo VRS, glede na oddaljenost od najbližje stalne postaje.

Razlike koordinat v horizontalni ravnini so izračunane po enačbi:

$$d = \sqrt{\Delta e^2 + \Delta n^2} \tag{7}$$

S slik 14 in 15 je razvidno, da razlike koordinat v horizontalni ravnini pri navezavi na bližnjo VRS naraščajo z nadmorsko višino in oddaljenostjo od najbližje stalne postaje omrežja SIGNAL. Z rdečo barvo je prikazana črta linearnega trenda. Pri kontrolnih točkah, ki so oddaljene od najbližje stalne postaje do 15 kilometrov in se nahajajo na nadmorski višini do 600 metrov, znašajo razlike (d) v horizontalni ravnini do 5 milimetrov.

5 SKLEP

V Sloveniji od leta 2008 uporabljamo nov koordinatni sistem, ki temelji na satelitskem določanju položaja. V zadnjem desetletju smo priča hitremu razvoju novih GNSS-instrumentov, posodabljanju programskih paketov za izračune, izboljšanim metodam in algoritmom izmere v realnem času ter posodabljanju satelitskih navigacijskih sistemov GPS, GLONASS, Galileo in BeiDou. V bližnji prihodnosti nas čaka še zagotovitev podpore za sistem Galileo v državnem omrežju stalnih GNSS-postaj SIGNAL. Za spremljanje kakovosti in nadzor delovanja omrežja SIGNAL je zato nujno stalno opravljati testne meritve na različnih lokacijah v Sloveniji z različnimi GNSS-instrumenti in metodami izmere. Določitev položaja na karakterističnih območjih, ki so na različnih oddaljenostih od stalnih postaj in na različnih višinskih razlikah glede na stalne postaje, je lahko izvedena po različnih postopkih, zato je v testiranju treba zajeti vsa ta območja. Na nekaterih je lahko dosežena nekoliko manjša točnost, vendar še vedno v mejah predpisane natančnosti za zemljiški kataster (velika polos standardne elipse zaupanja < 4 cm). Rezultati izmer z različnimi metodami in instrumenti različnih proizvajalcev niso vedno popolnoma enaki. Zato želimo ob tej priložnosti povabiti tudi geodetska podjetja in ostale subjekte, da uporabljajo novo kontrolno GNSS-mrežo, ki jo je vzpostavila geodetska uprava, za preizkus svojih GNSS-instrumentov in metod izmere. Če bo izkazan interes in potreba po dodatnih kontrolnih točkah, bomo mrežo dopolnjevali. Podatki o kontrolnih GNSS-točkah s pripadajočimi topografijami in seznamom referenčnih koordinat v D96-17/TM so objavljeni na portalu Prostor (Kontrolna GNSS-mreža, 2020).

Zahvala

Za pomoč in koristne nasvete pri pripravi članka se zahvaljujem Sandiju Berku z Geodetske uprave RS.

Literatura in viri:

- Berk, S., Sterle, O., Medved, K., Stopar, B. (2020). ETRS89/D96-17 – rezultat GNSS-izmere EUREF Slovenija 2016. *Geodetski vestnik*, 64 (1), 43–67. DOI: <http://doi.org/10.15292/geodetski-vestnik.2020.01.43-67>
- Häkli, P., Kallio, U., Puupponen, J. (2013). From Passive to Active Control Point Networks – Evaluation of Accuracy in Static GPS Surveying. *FIG Working WEEK 2013*, 6.–10. maj 2013, Abuja, Nigerija, https://www.fig.net/resources/monthly_articles/2013/october_2013/hakli_et_al.pdf, pridobljeno 20. 1. 2018.
- Kontrolna GNSS-mreža (2020). Portal Prostor, Mreža kontrolnih GNSS-točk. <https://www.e-prostor.gov.si/zbirke-prostorskih-podatkov/drzavni-prostorski-koordinatni-sistem/zbirka-podatkov-drzavnih-geodetskih-tock/#tab4-1643>, pridobljeno 20. 1. 2020.
- Leica Infinity (2020). Programski paket Leica Infinity, različica 3.3.0, z navodili v »Leica Infinity Help«.
- Medved, K., Berk, S., Sterle, O., Stopar, B. (2018). Izzivi in dejavnosti v zvezi z državnim horizontalnim koordinatnim sistemom Slovenije. *Geodetski vestnik*, 62 (4), 567–586. DOI: <https://doi.org/10.15292/geodetski-vestnik.2018.04.567-586>
- Obvestilo (2019). Nove koordinate stalnih postaj omrežja SIGNAL na osnovi GNSS-izmere »EUREF Slovenija 2016« (koordinatne ETRS89/D96-17). http://www.gu-signal.si/sites/default/files/Obvestilo_12_12_2019-EUREF_SVN_2016.pdf, pridobljeno 10. 1. 2020.
- Pavlovčič Prešeren, P., Mencin, A., Stopar, B. (2010). Analiza preizkusa instrumenta GNSS-RTK po navodilih standarda ISO 17123-8. *Geodetski vestnik*, 54 (4), 607–626. DOI: <http://dx.doi.org/10.15292/geodetski-vestnik.2010.04.607-626>
- Ritlop, K. (2017). Analiza vplivov različnih modelov troposferske refrakcije na kakovost položaja v GNSS. Magistrsko delo. Ljubljana: Univerza v Ljubljani, Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo. <https://repozitorij.uni-lj.si/lzpisGradiva>

php?id=93041&lang=slv, pridobljeno 20. 1. 2020.

SIGNAL (2020). Omrežje SIGNAL, <http://www.gu-signal.si>, pridobljeno 20. 4. 2020.

Wielgosz, P., Cellmer, S., Rzepecka, Z., Paziewski, J., Grejner-Brzezinska, D. A. (2011).

Troposphere modeling for precise GPS rapid static positioning in mountainous areas. *Measurement Science and Technology*, 22 (4), 045101, 9 str. DOI: <https://doi.org/10.1088/0957-0233/22/4/045101>



Majcen D. (2020). Vzpostavitev pasivne kontrolne GNSS-mreže v Sloveniji. *Geodetski vestnik*, 64 (2), 169-181.

DOI: <https://doi.org/10.15292/geodetski-vestnik.2020.02.169-181>

Danijel Majcen, univ. dipl. inž. geod.

Geodetska uprava Republike Slovenije
Zemljemerska ulica 12, SI-1000 Ljubljana
e-naslov: dani.majcen@gov.si

ELEKTRONSKI TEODOLITI – RAZVOJ IN KLASIFIKACIJA

ELECTRONIC THEODOLITES – DEVELOPMENT AND CLASSIFICATION

Nedim Tuno, Simona Savšek, Admir Mulahusić, Dušan Kogoj

UDK: 528.521
Klasifikacija prispevka po COBISS.SI: 1.02
Prispelo: 27. 3. 2020
Sprejeto: 15. 4. 2020

DOI: 10.15292/geodetski-vestnik.2020.02.182-197
REVIEW ARTICLE
Received: 27. 3. 2020
Accepted: 15. 4. 2020

IZVLEČEK

Elektronski teodoliti kot samostojni instrumenti za merjenje kotov se v omejenem obsegu še vedno izdelujejo in aktivno uporabljajo po vsem svetu, čeprav prevladuje mnenje, da so zastareli in ob sodobnih tahimetrih že leta neuporabni. V članku podajamo pregled zgodovinskega razvoja teh instrumentov v zadnjih 55 letih. Na podlagi podrobne analize konstrukcije, zmogljivosti, funkcionalnosti in natančnosti smo elektronske teodolite razvrstili v tri skupine – enostavni, univerzalni in precizni. Opisane so osnovne značilnosti posameznih skupin.

ABSTRACT

Although they have long been regarded as obsolete, classical electronic theodolites, which are made as standalone angle-measuring instruments, are still being produced and widely used throughout the world. This paper provides a comprehensive overview of the historical development of these instruments over the previous 60 years. A detailed analysis of the theodolite's purpose, accuracy, construction, capabilities and functionality has resulted in the determination of three main groups of these instruments; a brief description of each category is provided.

KLJUČNE BESEDE

elektronski teodolit, razvoj, klasifikacija, geodetska tehnologija

KEY WORDS

electronic theodolite, development, classification, survey technology

1 UVOD

V šestdesetih letih 20. stoletja so bili v tedanji Zahodni Nemčiji uspešno skonstruirani prvi instrumenti z elektronskim sistemom za čitanje in registracijo kotnih vrednosti na steklenih limbih teodolitov (Zwickert, 1964; Zetche, 1968). To so bili prvi elektronski teodoliti. Njihov tehnološki razvoj je bil v začetku počasen, saj je bil povezan z razvojem elektronike, uporabnost teh instrumentov v geodeziji pa je bila odvisna od razpoložljive dodatne tehnologije, potrebne za samodejno obdelavo podatkov. Tako je prehod z analognih na elektronske teodolite trajal več desetletij. Konec obdobja, v katerem so prevladovali analogni teodoliti, je bilo mogoče zaslutiti v 80. letih. V tem času so v proizvodnih obratih analogne teodolite največje natančnosti zamenjali precizni elektronski instrumenti (Tuno in sod., 2010). Postopno »umiranje« analognih teodolitov opišemo s števkami: leta 1982 je bilo na svetovnem trgu mogoče izbirati med 46 različnimi modeli analognih teodolitov in le tremi elektronskimi; deset let pozneje je bilo dostopnih 18 modelov analognih in 16 modelov elektronskih teodolitov. Do konca 20. stoletja so vsi vodilni proizvajalci geodetske opreme prenehali izdelovati analogne teodolite in se popolnoma usmerili v izdelavo instrumentov z elektronskim načinom čitanja razdelbe na limbih (Rüeger, 2006). Sčasoma so tehnologijo izdelave elektronskih teodolitov osvojile tudi manjše tovarne, zato so trg preplavile desetine novih modelov teh instrumentov.

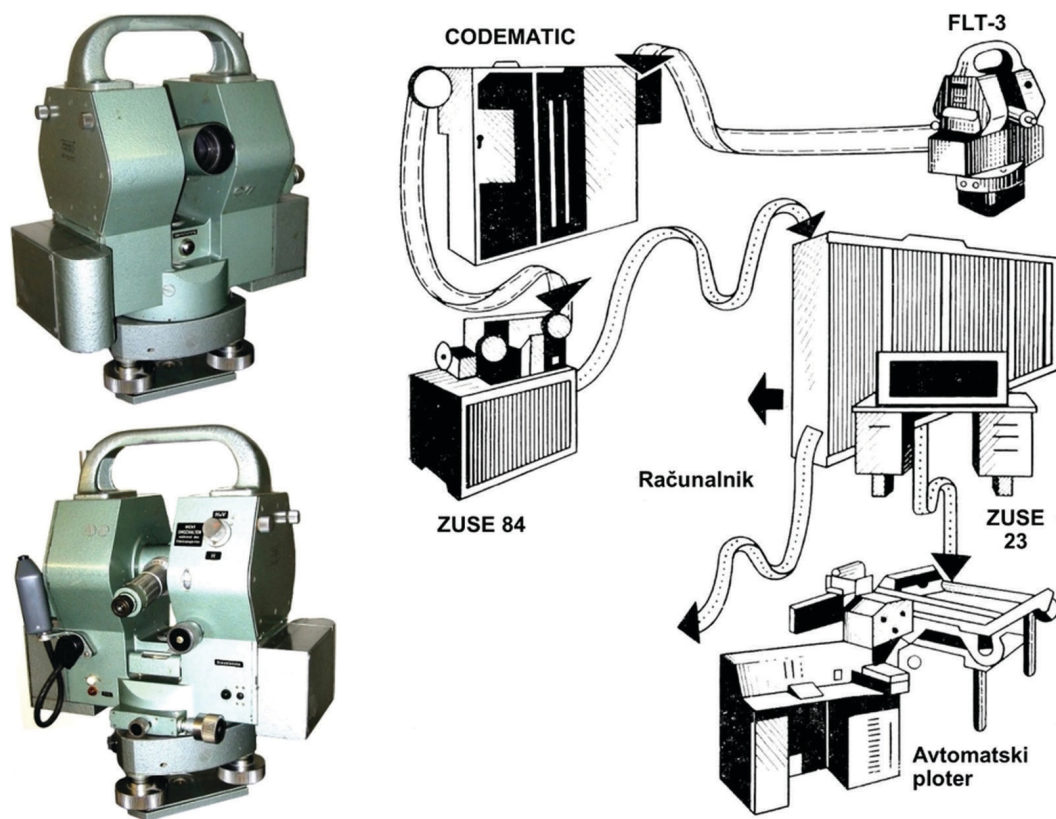
V obstoječi literaturi o elektronskih teodolitih je največ napisanega o razlagah njihove kompleksne zgradbe, še posebej o konstrukciji in delovanju sistema za čitanje limbov in elektronskega kompenzatorja (npr. Cooke, 1968; Aeschlimann, 1978; Katowski in Salzmann, 1983; Brooke, 1988; Benčić, 1990; Deumlich in Staiger, 2002; Solarić in sod., 2011, itd.). Objavljenih je nekaj del, v katerih avtorji opisujejo merske sposobnosti teh instrumentov, njihovo natančnost in uporabnost (npr. Bingley, 1990; Ali, 1991; Solarić in Špoljarić, 1992; Rüeger i Alanko, 1995; Ali, 2001; Tuno, 2005; Yang in sod., 2011, itd.). Z opisi razvoja elektronskih teodolitov se je ukvarjalo zelo malo avtorjev, saj prevladuje mnenje, da je zgodovina teh instrumentov tesno povezana z razvojem elektronskih tahimetrov (Rüeger, 2006; Courbon, 2007). Razvoj elektronskih teodolitov je predstavljen le delno in površno v delih, ki obravnavajo splošni razvoj geodetskih instrumentov. Namen tega članka je prvič na enem mestu podati najpomembnejše mejnike in dinamiko razvoja elektronskih teodolitov v zadnjih 55 letih. V delu skušamo rešiti problem nesistematičnih načinov razvrščanja elektronskih teodolitov. Proizvajalci različne vrste teodolitov poimenujejo kot informacijske, enostavne, gradbene, ekonomske, inženirske, precizne, industrijske in podobno. Najpogosteje pa jim rečejo kar elektronski ali digitalni teodoliti. V strokovni literaturi, kjer strogo upoštevamo osnovno filozofijo delitve optičnih teodolitov glede na natančnost meritev, avtorji razvrščajo elektronske teodolite v dve skupini (Kahmen in Faig, 1988), tri skupine (Matthews, 1996), štiri skupine (Fialovszky, 1991; Benčić in Solarić, 2008) oziroma v šest skupin (Deumlich in Staiger, 2002). Glede na namen se teodoliti običajno delijo na gradbene, inženirske in precizne (Fialovszky, 1991; Matthews, 1996). Zaradi velike heterogenosti razvrščanja elektronskih teodolitov v članku elektronske teodolite razvrstimo ne zgolj glede na namen in natančnost, temveč tudi glede na konstrukcijske koncepte, stopnjo opreme, učinkovitost, merske zmogljivosti, splošno funkcionalnost instrumentov in drugo.

2 PRVI ELEKTRONSKI KODNI IN DIGITALNI TEODOLITI

Prvi elektronski teodoliti so se pojavili v zgodnjih 60. letih. Vanje so vgradili elektronske komponente, ki so omogočale čitanje razdelb limbov in registracijo kotnih vrednosti. S tem so odpravili človeško vlogo v dveh fazah kotnih meritev in dosegli neprekinjen pretok podatkov od teodolita do elektronskega

računalnika. Prvo uspešno konstrukcijo takšnega instrumenta povezujemo z imeni, kot so Eduard Lang, Erwin Zwickert in Walter Faulian (*Theodolite with coded indications*, 1965). Po njihovih idejah je leta 1963 tovarna Otto Fennel GmbH v Kasslu izdelala prototip elektronskega teodolita – kodni teodolit FLT-3 s fotografsko registracijo kodirane razdelbe limba na 35-milimetrski film.

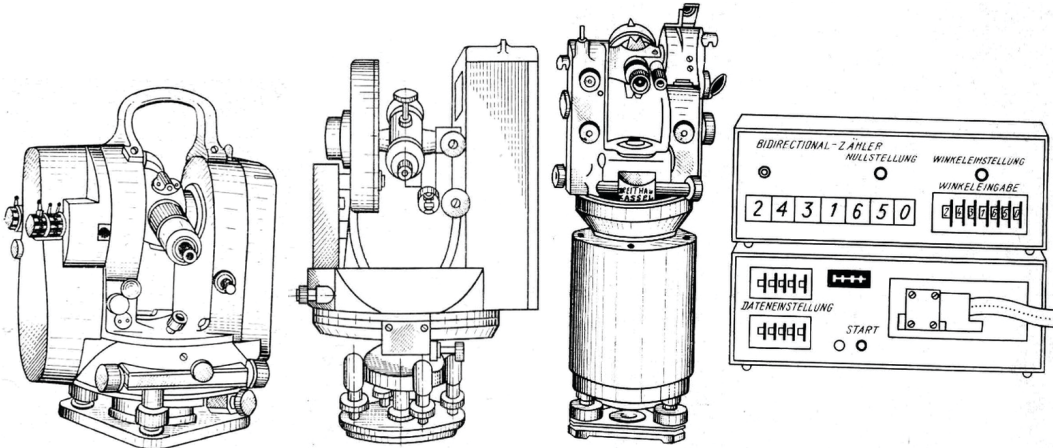
Po razvijanju in fiksiranju filma so se podatki s posebnim fotoelektričnim prevodnikom prenesli na perforirane trakove, s katerih so se odčitali na elektronski računalnik (slika 1). Glede na takratno stanje razvoja elektronike je bil ta sistem izjemno premišljen, njegova uporabnost pa v praksi ni zaživila. Največji pomen instrumenta FLT-3 v razvoju elektronskih teodolitov se kaže v tem, da je njegov pojav spodbudil nadaljnji razvoj naprav za čitanje kotnih razdelb na limbih, registracijo izmerjenih podatkov in njihov prenos brez neprimerne in nepraktične vmesne registracije na filmske trakove (Hauf, 1978; Benčić, 1990; Fialovszky, 1991).



Slika 1: Elektronski kodni teodolit Fennel FLT-3 (Heer, n. d., objavljeno z dovoljenjem Leibniz Universität Hannover) ter prikaz postopka registracije in obdelave izmerjenih podatkov (Hauf, 1978).

Prof. dr. Hans Zetsche z Geodetskega inštituta v Bonnu je konstruktor prvega pravega elektronskega digitalnega teodolita z direktno registracijo. Zetschejev projekt novega instrumenta se je začel skorajda istočasno kot razvoj elektronskega teodolita s kodirano razdelbo FLT-3 v podjetju Fennel. Zaradi slabe podpore se je delo na projektu upočasnilo, zato je bil prvi elektronski teodolit izdelan šele leta 1965.

Naredili so ga v tovarni Breithaupt & Sohn iz Kassla in ga imenovali DIGIGON (*DIGItal GONiometer*). Elektronski teodolit je predelan analogni teodolit TEINS. Na steklene limbe je nanešena inkrementalna razdelba s 5000 inkrementi – svetlo temnimi polji enakih dimenzij. Razdelbo horizontalnega limba zazna elektronski senzor, njegova osnova je Leitzov fotoelektrični pretvornik. Senzor je nameščen na cilindričnem nepremičnem spodnjem delu instrumenta. DIGIGON (slika 2) je omogočal digitalno čitanje vrednosti kotov v realnem času z ločljivostjo 1 mgon. Teodolit je bil s kablom povezan na zunanjo enoto z zaslonom za digitalni prikaz vrednosti opazovane horizontalne smeri, za nastavitev želene začetne vrednosti horizontalne smeri in za vnos dodatnih informacij (številka točke, višina instrumenta ipd.). Zunanja enota je bila povezana z napravo za samodejno registracijo na perforirani trak. Čitanje razdelbe vertikalnega limba je bilo klasično s skalnim mikroskopom. Okvirna cena celotnega sistema je znašala 3000 takratnih britanskih funtov (okoli 55.000 današnjih britanskih funtov). Čeprav je bila nadgradnja elektronskega digitalnega teodolita napovedana za sredino leta 1968, je DIGIGON na koncu ostal le pri prvotnem prototipu, saj Breithaupt pravzaprav ni načrtoval serijske proizvodnje tega instrumenta. Tako je DIGIGON ostal tehnološki prototip, zasnovan kot osnova za razvoj naprednih teodolitov (Cooke, 1968; Sydenham, 1968; Hauf, 1978).



Slika 2: Kodni teodoliti Ko-B1, Digitrin in digitalni teodolit DIGIGON (Hauf, 1978).

Ob koncu 60. let so v madžarski tovarni MOM izdelali teodolit s kodirano razdelbo limba Ko-B1 (slika 2) s pripadajočo elektronsko enoto. Instrument je razvil László Gyomai. Podobno kot pri teodolitu DIGIGON so se vrednosti smeri odčitale elektronsko in zapisale na perforirani trak. Optični mikrometer sistema za odčitavanje limba je deloval neprekinjeno, zato so se s teodolitom lahko spremljali premični cilji, ki so se gibali s kotno hitrostjo do 2 gon/s. Merske vrednosti so se sproti zapisovale, zapisovanje odčitkov obeh limbov je trajalo 0,2 sekunde. Standardni odklon merjenja horizontalne smeri je znašal 0,7", vertikalnega kota pa 1". MOM je izdelal ničelno serijo z nekaj primerki tega teodolita, namenjeno preverjanju sistema pred uvedbo serijske proizvodnje. Te pa nazadnje niso začeli, saj so v tovarni ocenili, da tako velik in težek merski sistem (sam teodolit je imel maso 12,5 kilograma, masa celotnega sistema pa je znašala več kot 40 kilogramov) nima prihodnosti. V začetku 70. let so namreč že obstajali precej bolj praktični elektronski tahimetri tovarn Zeiss in AGA. Kljub temu so se izdelani instrumenti Ko-B1 dolga leta uporabljali na letališčih Ferihegy in Praga za spremljanje pristajanja letal (Hauf, 1978; Fialo-

vszky, 1991; Imre in sod., 2015). S tem so prišli v zgodovino kot prvi operativno uporabni elektronski teodoliti. Prototip elektronskega kodnega teodolita Digitran (slika 2) je razvila tudi ameriška tovarna W. & L. E. Gurley. Zanimivo je, da je imel ta instrument na limbih poleg kodirane tudi klasično razdelbo, čitanje na klasični črtni razdelbi pa je omogočal optični mikrometer (Hauf, 1978). Čeprav so tovarne Fennel, Breithaupt, W. & L. E. Gurley in MOM opustile nadaljnji razvoj in proizvodnjo elektronskih teodolitov, lahko rečemo, da programi razvoja njihovih elektronskih teodolitov niso bili zaman in so opravili svoje poslanstvo. Z uporabo kodiranih in inkrementalnih limbov je bil uveden povsem nov način čitanja, lahko rečemo tudi, da se je z njimi uveljavila elektronika v geodetskih instrumentih. V nadaljnjem burnem razvoju je to močno spremenilo in razširilo vlogo teodolitov.

3 ELEKTRONSKI TEODOLIT KOT DEL INTEGRIRANEGA ELEKTRONSKEGA TAHIMETRA

Od začetka 70. let so proizvajalci v elektronski teodolit najpogosteje vgradili elektronski razdaljemer. Takšen merski sistem, z možnostjo samodejnega shranjevanja merskih podatkov, imenujmo integrirani elektronski tahimeter ali skrajšano kar elektronski tahimeter oziroma tahimeter. Ob dobesednih prevodih iz angleščine srečamo tudi poimenovanja, kot so »totalna (popolna) postaja (TS)«, »terestrični (teodolitski) pozicijski sistem (TPS)«. Do sredine 80. let so imeli takšne instrumente v ponudbi vsi pomembnejši proizvajalci geodetske opreme. V vrtočglavem razvoju, ki je sledil in traja vse do danes, se je pojavilo veliko različnih tipov in modelov tahimetrov, ki jih lahko razvrstimo v 5 generacij (Tuno in sod., 2019). Ker v članku obravnavamo teodolite, ki se izdelujejo kot samostojni instrumenti, integriranih teodolitov ne bomo podrobneje opisovali.

4 VEČNAMENSKI ELEKTRONSKI TEODOLIT – SAMOSTOJNI INSTRUMENT IN MODUL KOMBINIRANEGA ELEKTRONSKEGA TAHIMETRA

4.1 Splošne značilnosti večnamenskih elektronskih teodolitov

Večnamenski ali univerzalni elektronski teodoliti so izjemno prilagodljivi instrumenti, ki so bili glede na natančnost in dodatne module namenjeni širokemu spektru uporabe: od enostavnih meritev na gradbiščih do zahtevnih meritev preciznih geodetskih mrež za spremljanje premikov in deformacij. Delimo jih na teodolite srednje natančnosti – standardni odklon smeri po DIN ali ISO je od 2" do 5" ($\sigma_{\text{DIN18723-THEO-Hz,V}} \sigma_{\text{ISO-THEO Hz,V}}$) – in teodolite visoke natančnosti – standardni odklon smeri je od 0,5" do 1,5" ($\sigma_{\text{DIN18723-THEO-Hz,V}} \sigma_{\text{ISO-THEO Hz,V}}$). Za čitanje razdelbe horizontalnega in vertikalnega limba se uporabljata ali statični (absolutni ali relativni postopek) ali pa dinamični postopek čitanja. Na univerzalne teodolite lahko z ustreznim dodatkom pričvrstimo elektronski razdaljemer. Tako nastane modularni elektronski tahimeter. Osnovni modul modularnega tahimetra je elektronski teodolit. Omogoča neprekinjen pretok podatkov od terenskih meritev do izpisa koordinat točk (slika 3), pri čemer ostaja še naprej samostojni instrument. Modularno zgrajeni instrument je imel nekatere prednosti, saj je lahko geodetski strokovnjak izbral ustrezno kombinacijo – teodolit – razdaljemer – tahimeter. Razdaljemer, ki ga je bilo mogoče s posebnim nosilcem uporabiti tudi samostojno, je bil pritrjen ali na nosilcih daljnogleda teodolita ali neposredno na daljnogledu. Prenos podatkov med razdaljemerom in teodolitom je potekal preko kabla ali neposredno. S priključkom elektronske spominske enote je bilo mogoče vse podatke samodejno shraniti. Nekateri teodoliti so imeli vgrajeno spominsko enoto, najnaprednejši modeli pa so poleg tega

omogočali shranjevanje podatkov na prenosni pomnilnik. Teodoliti so imeli vgrajene mikroprocesorje, ki so omogočali avtomatizacijo merskega procesa v smislu upoštevanja instrumentalnih popravkov in preračunov merskih vrednosti. Obdelava merskih podatkov se je na terenu izvedla prek ločenega modula – elektronskega zapisnika. Najnaprednejši modeli teodolitov so imeli vgrajene programe, ki so omogočali različne izračune (sredine merjenih vrednosti, polarne – pravokotne koordinate, koordinate poligonskih točk ...). Vsi univerzalni elektronski teodoliti imajo elektronske kompenzatorje – enoosne za popravljanje čitanja vertikalnega limba ali dvoosne za samodejno korekcijo zenitnih razdalj in horizontalnih smeri. Nekateri univerzalni elektronski teodoliti so tudi motorizirani.



Slika 3: Različne možnosti sestavljanja modularnega merskega sistema s teodolitom Wild T1610 kot osnovno enoto (Leica, 1993).

4.2 Razvoj večnamenskih elektronskih teodolitov

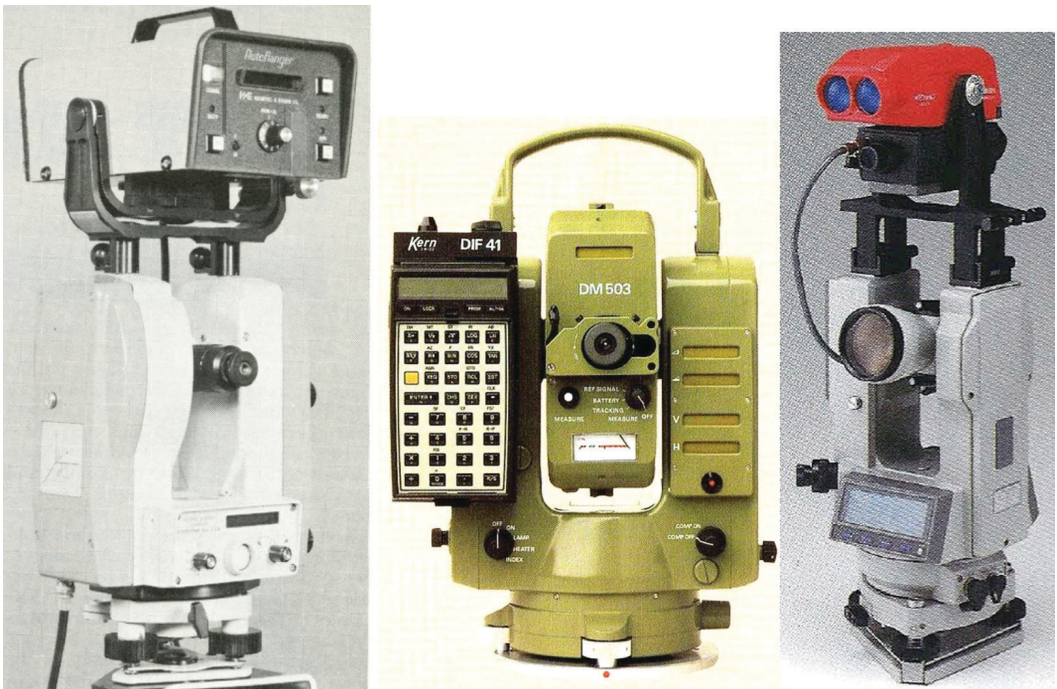
Od izdelave elektronskega digitalnega teodolita DIGIGON do pojava instrumentov, ki bi jih lahko šteli za predhodnike modernih elektronskih teodolitov in tahimetrov in ki so geodezijo resnično pripeljali v elektronsko dobo, je minilo več kot desetletje. Leta 1977 so se pojavili instrumenti, katerih napredni koncepti so določali smer razvoja elektronskih teodolitov in tahimetrov v naslednjih dveh desetletjih. Koncept tovarn Wild (danes Leica Geosystems) in Hewlett Packard je temeljil na integriranih tahimetrih (Tuno in sod., 2019), medtem ko sta Kern (danes Leica Geosystems) in Keuffel & Esser (K & E) oglaševala modularno rešitev z elektronskim teodolitom, elektronskim razdaljemerom in elektronskim zapisnikom kot ločenimi enotami.

Prvi, na trgu dostopni elektronski teodolit z možnostjo modularne rešitve je bil K & E Vectron (slika 4). Instrument ima enoosni kompenzator in mikroročunalnik z mikroprocesorjem. Limbi imajo inkrementalno razdelbo, način čitanja je relativni. Za merjenje zenitnih razdalj je bilo treba ob vklopu instrumenta vedno znova določiti mesto zenita oziroma mesto indeksa vertikalnega limba (orientacijo vertikalnega limba) z enostavnim postopkom inicializacije. Ob horizontiranem instrumentu je bilo treba daljnogled z ustrezno hitrostjo prevrteti preko horizonta. Relativni način določanja odčitkov na limbih z inkrementalno razdelbo je bil takrat veliko zanesljivejši kot absolutni sistem, pri katerem je kompleksna struktura pogosto povzročala napake odčitanih vrednosti kotov. Standardni odklon merjenih horizontalnih smeri in zenitnih razdalj je znašal 3" ($\sigma_{\text{DIN18723-THEO-Hz,V}}$). V prvi legi daljnogleda se je nahajala plošča s tipkovnico in LED-zaslonom (8 znakov) za prikaz izmerjenih ali izračunanih vrednosti. Kotne vrednosti so se prikazovale v gonih, stopinjah (seksagezimalna ali decimalna razdelba) ali tisočinah (hiljaditih). Zaslonka ločljivost je bila ali 1 mgon ali 1". Ob naviziranju začetne točke je bilo mogoče s pritiskom na gumb nastaviti odčitek na vrednost 0. Teodolit je bilo mogoče povezati z zunanjo tipkovnico za vnos dodatnih podatkov o stojšču, vizurni točki ipd. Omogočala je tudi nastavitve vrednosti začetne smeri, izbiro zaporedja merjenja horizontalnih smeri, računanje sredin niza nadštevilnih meritev in drugo. S pritrditvijo elektronskega razdaljemera Autoranger na nosilec daljnogleda teodolita je nastal elektronski tahimeter z možnostjo neposrednega prenosa izmerjenih dolžin v mikroročunalnik teodolita. To je omogočilo pretvorbo polarnih koordinat v merskem prostoru v koordinatne razlike v koordinatnem prostoru in naprej v koordinate merjenih točk v koordinatnem sistemu baze izmere. Posebno stikalo na tipkovnici je služilo za izbiro prikaza zelenih izmerjenih ali izračunanih vrednosti. Vektron je bil povezan z zunanjim regulatorjem – terenskim računalnikom (angl. field computer), katerega spominska zmogljivost je znašala od 8 KB do 24 KB. Terenski računalnik je omogočal pregled vseh vpisanih podatkov v pomnilnik, služil pa je tudi za izračune in kontrolo izmerjenih vrednosti na terenu (npr. zapiranje poligonskega vlaka) (Erickson, 1978; Ketteman, 1985).

Na podlagi prototipa teodolita ET2 (konstruiral ga je Hans Koch) je tovarna Kern leta 1980 začela proizvodnjo preprostejše različice instrumenta pod oznako E1 (Aeschlimann, 1978; Aeschlimann, 2008). Elektronski teodolit E1 je imel podobne lastnosti in zmogljivosti kot teodolit Vectron. Podatke je prikazoval na štirih vrstičnih LCD-zaslonih v prvi legi daljnogleda in na dveh zaslonih v drugi legi daljnogleda. Vrednosti horizontalne smeri in zenitne razdalje sta bili določeni istočasno, instrument je potreboval dve sekundi za prikaz. Leta 1983 je Kern začel proizvajati teodolit visoke natančnosti Kern E2 (slika 4). Njegova natančnost je bila osupljiva, standardni odklon merjene horizontalne smeri in zenitne razdalje je bil 0,5" ($\sigma_{\text{DIN18723-THEO-Hz,V}}$), to pa je natančnost statičnega načina čitanja današnjih najnatančnejših preciznih tahimetrov. Dvoosni kompenzator je omogočal samodejno korekcijo vrednosti zenitne razdalje in horizontalne smeri zaradi nagiba navpične osi (Kern, 1985a; Kern 1985b). Istega leta je tovarna WILD pričela proizvodnjo teodolita visoke natančnosti Theomat T2000 (50 years of..., 2014; Virtual Archive of..., n. d.). T2000 je bil opremljen z dinamičnim sistemom čitanja limba, ki omogoča visoke natančnosti merjenja horizontalnih smeri in zenitnih razdalj 0,5" ($\sigma_{\text{DIN18723-THEO-Hz,V}}$). Razdelba na limbih je inkrementalna, pri tem pa instrument na podlagi merjenja časa določi vrednost kota med fotocelico začetne smeri – ničle razdelbe in fotocelice smeri kolimacijske osi (Katowski in Salzman, 1983). Na nadzorni plošči instrumenta je numerična tipkovnica z ukaznimi tipkami za neposredno upravljanje. Teodolit ima izmenljivo baterijo v posebnem delu instrumenta, kar je veliko priročnejši način napajanja od dotedanjih rešitev z zunanjimi baterijami (Wild, 1985).

V sredini 80. let uvedejo absolutni statični sistem čitanja limbov, pri katerih se uporablja le ena koncentrična linija (Wild Theomat T1000 in T1600). Ta način ima bistveno prednost pred dinamičnim, saj je čas meritev občutno krajši, celoten sistem pa je enostavnejši in veliko cenejši. Teodoliti so opremljeni z izmenljivim spominskim modulom majhnih dimenzij in mase. Nameščen je v posebno ohišje na instrumentu, ki v primerjavi z zunanji enotami občutno poveča funkcionalnost instrumenta. Pri T1000 in T1600 so osnovni programi za računanje shranjeni v instrumentu, dodana je možnost shranjevanja instrumentalnih popravkov in s tem možnost popravkov merskih vrednosti (Virtual Archive..., n.d.; Tuno in sod., 2010).

Evropski in ameriški proizvajalci elektronskih teodolitov kmalu dobijo konkurenco z Daljnega vzhoda – od sredine 80. let se pojavljajo večnamenski instrumenti japonskih tovarn Topcon, Sokkisha (danes Sokkia) in Nikon. Zaradi splošnega napredka računalniške tehnologije in senzorjev, povečane konkurence, ki jo je povzročila hitra rast tržnega deleža japonskih proizvajalcev, in drugih vzrokov je cena elektronskih teodolitov v drugi polovici 80. let močno padla. Tako je na primer elektronski teodolit srednje natančnosti Wild T1000 takrat stal približno 12.000 USD, celotni modularni tahimeter (teodolit Wild T1000 in elektronski razdaljemer Wild DI1000 z zunanjim registratorjem/računalnikom Wild GRE4) pa približno 25.000 USD (približno 56.000 današnjih ameriških dolarjev). Enakovredni modularni tahimetri proizvajalcev Sokkisha in Topcon so bili za tretjino cenejši. Precizni modularni tahimetri so bili veliko dražji. Kernov sistem teodolita E2 in razdaljema DM503 ali DM 504 je stal okrog 37.000 USD, Wildov sistem, ki je temeljil na teodolitu T2000, razdaljemer je bil serije DI2000, pa celo 45.000 USD (Kamphorst, 1987).



Slika 4: Elektronski teodoliti kot osnovni instrumenti sistema modularnega tahimetra: Keuffel & Esser Vectron (Ericson, 1978), Kern E2 (Kern, 1985a) in Sokkia DT4E (Sokkia, n. d.).

Do začetka devetdesetih let se na trgu pojavijo naprednejše izvedbe elektronskih teodolitov (npr. Zeiss, (danes Trimble) ETH2, Sokkisha DT-2E, Wild T2002, Leica T1610 in podobni), izdelane na preverjenih osnovah predhodnih modelov. Modularna struktura je omogočila izdelavo optimalne konfiguracije instrumentov za specifične naloge, zato so bili kombinirani tahimetri v osemdesetih in devetdesetih letih zelo priljubljeni. Tako so se na daljnogled teodolita Leica T1010 (v proizvodnji od 1991. do 1995.) lahko namestili različni fazni in impulzni razdaljemerji (DI1001, DI1600, DI2002, DI3000S, DIOR3002S pa tudi starejši modeli razdaljemerov). Kombinacija teodolita s faznim razdaljemerom DI2002 je omogočala merjenje dolžin visoke natančnosti – standardni odklon $\sigma_{[mm];[ppm]}$: 1 mm; 1 ppm, z impulznim razdaljemerom DI3000S so lahko merili razdalje do 19 kilometrov, medtem ko je DIOR3002S omogočil merjenje dolžin brez uporabe reflektorja do oddaljenosti 350 metrov. Tovarna Leica je hkrati izdelovala integrirani tahimeter TC1010, ki sta ga sestavljala teodolit T1010 in fazni razdaljemer standardne natančnosti $\sigma_{[mm];[ppm]}$: 3 mm; 2 ppm, dosega največ 5,5 kilometra. Lastnosti tahimetra ni bilo mogoče spreminjati. Primer kaže na prednosti in prilagodljivost koncepta kombiniranih tahimetrov, predvsem v smislu možnosti izbire ustreznega razdaljemera glede na zastavljeno nalogo. S postopnimi nakupi je bilo mogoče sestaviti kompleksnejši sistem teodolit-razdaljemer. Na drugi strani pa nekateri uporabniki niso merili dolžin, zato zanje nakup integriranega tahimetra ni bil zanimiv (Courbon, 2007).

Izdelava modularnih tahimetrov doseže vrhunec leta 1995, ko se je pojavila nova generacija instrumentov tovarne Leica, poimenovanih serija TPS 1000 (Theodolit – Positions – Systeme). V serijo TPS 1000 so uvrščeni elektronski teodoliti T(M)1100/1800, ki so bili znatno izboljšani z možnostjo shranjevanja podatkov na notranji pomnilnik in PCMCIA SRAM-kartice, z vgrajenimi stopenjskimi motorji za obracanje alhidade in daljnogleda (M-različica), neskončnimi vijaki za fino viziranje (M-različica), velikimi LCD-zasloni z možnostjo prikaza enostavne grafike, elektronsko libelo, možnostjo lastnih programskih rešitev »on board« itd. (Leica Geosystems, 1998). Kljub precejšnjemu povečanju učinkovitosti elektronskih instrumentov so njihove cene padale, kompleksni motorizirani teodolit TM1100 (natančnost 3") je bilo mogoče ob koncu devetdesetih kupiti že za približno 11.000 USD (okoli 16.000 današnjih USD) (Point of Beginning, 2000). Takrat se je občutno zmanjšalo povpraševanje po tahimetrih modularnega tipa, zato so proizvajalci geodetske opreme pričeli opuščati proizvodnjo takšnih instrumentov (Rüeger, 2006). Zaradi hitrega razvoja in občutnega padca cen integriranih tahimetrov so prednosti sestavljanja elektronskega tahimetra z ločenimi enotami tako rekoč izginile. Geodeti so se pri nakupih raje odločili za integrirane instrumente, saj so bile takšne rešitve bolj praktične za izvajanje meritev. Po letu 2000 proizvajalci geodetskih instrumentov niso več razvijali novih modelov večnamenskih (univerzalnih) elektronskih teodolitov.

5 ENOSTAVNI ELEKTRONSKI TEODOLITI

5.1 Splošne značilnosti enostavnih elektronskih teodolitov

Enostavni elektronski teodolit je namenjen manj zahtevnim uporabnikom, ki potrebujejo relativno preprost instrument za geodetska dela manjše natančnosti, tehnične meritve v gradbeništvu, gozdarstvu, poljedelstvu in podobno. Pri izdelavi takšnih teodolitov je posebna pozornost namenjena enostavnosti uporabe in robustnosti. Večina tovrstnih teodolitov je odpornih proti prahu in vodi (stopnja zaščite do IP66). Preprosta tipkovnica (od 3 do 10 tipk) je ena sama z enobarvnim dvovrstičnim LCD-zaslonom, prirejena za uporabo le v prvi krožni legi daljnogleda. Razdelba na limbih je pogosto inkrementalna,

natančnost kotnih meritev pa znaša od 2" do 20" ($\sigma_{\text{ISO-THEO Hz,V}}$). Večinoma imajo daljnogled z vgrajenim Reichenbachovim razdaljemerom za optično merjenje dolžin. Starejši modeli enostavnih teodolitov imajo na daljnogledu nivelacijske libele za horizontiranje vizurne osi, s takšnim instrumentom lahko tudi niveliramo. Teodoliti se v večini napajajo s standardnimi baterijami AA 1,5 V. Najenostavnejši modeli enostavnih teodolitov nimajo kompenzatorjev, v nekoliko naprednejših izvedbah pa so vgrajeni kompenzatorji za samodejno popravljanje odčitka vertikalnega limba. Pri merjenju horizontalnih smeri pogosto obstaja možnost shranjevanja vrednosti kolimacijskega pogreška, kar omogoča popravke horizontalne smeri, merjene le v eni krožni legi. Instrumenti običajno ne omogočajo samodejne registracije merskih podatkov. Naprednejši modeli imajo večje zaslone in dvojno tipkovnico, dvoosni kompenzator za samodejno eliminacijo vpliva nagiba stojiščne osi teodolita, lasersko grezilo, priključek za elektronski zapisnik, osnovno programsko podporo in podobno. Razvite so tudi posebne različice, ki materializirajo kolimacijsko os z laserskim žarkom – tako imenovani laserski teodoliti, ki omogočajo direktno signalizacijo ciljne točke. Novejši enostavni teodoliti v splošnem nimajo možnosti modularne zgradbe z elektronskim razdaljemerom. Združitev so sicer omogočali starejši modeli enostavnih tahimetrov, vendar komunikacija med teodolitom in razdaljemerom po navadi ni bila mogoča. Instrumenta sta se tako med delom uporabljala ločeno, zaradi česar je bila funkcionalnost sistema zelo okrnjena.

5.2 Razvoj enostavnih elektronskih teodolitov

Univerzalni elektronski teodoliti in tahimetri iz prve polovice osemdesetih let so bili za večino uporabnikov cenovno nedostopni. Veliki večini strokovnjakov, ki so se ukvarjali pretežno z enostavnimi geodetskimi nalogami, dragi kompleksni elektronski instrumenti in samodejna obdelava podatkov niso bili zanimivi. Še naprej so uporabljali mnogo cenejše optične teodolite. Da bi elektronski instrumenti postali cenovno dostopnejši, so japonske tovarne pričele izdelovati poenostavljene elektronske teodolite, katerih velikost, masa in cena so bile primerljive z enostavnimi optičnimi teodoliti. Na podlagi teh so leta 1983 nastali teodoliti nizke natančnosti, natančnost merjenja je bila 20" ($\sigma_{\text{ISO-THEO Hz,V}}$). Primeri takšnih instrumentov so Topcon DT20, Sokkisha DT20E in Pentax PD20 (Topcon Museum, 2020; Sokkia Museum, 2020). Njihova glavna naloga je bila digitalni prikaz merjenih vrednosti na zaslonu ter s tem hitro in zanesljivo čitanje. To je bila tudi osnovna prednost glede na optične teodolite. Omogočali so priključitev elektronskega regulatorja za shranjevanje rezultatov meritev pa tudi namestitvev elektronskega razdaljemera na nosilec daljnogleda. Podobne lastnosti je imel teodolit ETh 4 (Electronic THEodolite) tovarne Zeiss Oberkochen, ki so ga pričeli izdelovati leta 1985 (slika 5). Stroške proizvodnje tega modela so znižali tako, da so uporabili relativni način čitanja razdelbe horizontalnega in vertikalnega limba ter znižali natančnost na 6" ($\sigma_{\text{DIN18723-THEO-Hz,V}}$). Poleg tega v instrument niso vgradili dvoosnega kompenzatorja (obstaja le kompenzator vertikalnega limba), vgrajeni so bili le osnovni merski programi. Vseeno pa je proizvajalec dopuščal možnost samodejnega shranjevanja merskih vrednosti, saj je imel teodolit izhodni priključek za zunanji elektronski zapisnik (Opton, 1986; The California Surveyor, 1986). Leta 1985 je teodolit stal okrog 3000 USD, približno enako vrednost je bilo treba nameniti nakupu elektronskega regulatorja. Istega leta je tovarna Nikon na trgu predstavila teodolit NE-10, ki je bil še cenejši. Koncept tega instrumenta (dostopna cena, enostavna uporaba, primerna velikost in masa, nizka natančnost, brez možnosti dodatka elektronskega razdaljemera ipd.) je bil podlaga za samostojni poenostavljeni teodolit, ki je bil v osnovi namenjen nezahtevnim kotnim meritvam. Koncept instrumenta so hitro prevzeli tudi drugi proizvajalci geodetskih instrumentov. V tej skupini je bilo razvitih daleč največ elek-

tronskih teodolitov. Zaradi množične uporabe na gradbiščih jih pogosto imenujemo tudi gradbeni teodoliti. Danes obstaja na desetine različnih modelov enostavnih teodolitov, ki jih izdelujejo različni proizvajalci, kot so Topcon, Sokkia, Pentax, Spectra Precision, Leica Geosystems, CST Berger, Johnson, geo-FENNEL, South, Foif, Boif, Datum, Northwest, Futtura, David White, Kolida, Ruide, UOMZ itd. Posebej zanimiva je serija teodolitov Topcon DT-200 (slika 5), ki se neprekinjeno izdeluje od leta 2003 (Topcon, 2009; Topcon, n.d.), kar je redkost v dobi elektronskih instrumentov. Številni teodoliti drugih proizvajalcev se v osnovi zgledujejo po seriji instrumenta DT-200 in so mu zelo podobni. Ko govorimo o elektronskem merjenju dolžin, je treba omeniti teodolit Leica T460D iz leta 1996, ki ga je bilo mogoče uporabljati v kombinaciji z ročnim laserskim razdaljmerom DISTO (Virtual Archive..., n. d.), pa tudi teodolit Ruide Disteo 23 (slika 5) iz leta 2017 z vgrajenim enostavnim elektronskim razdaljmerom za merjenje dolžin do 300 metrov z uporabo reflektorja (Ruide, n. d.). Najenostavnejši teodoliti kitajskih proizvajalcev se lahko danes kupijo že za 500 USD do 1000 USD, medtem ko se najboljši modeli enostavnih teodolitov proizvajalcev Leica Geosystems, Topcon in Sokkia prodajajo za približno 4000 USD.



Slika 5: Enostavni elektronski teodoliti: Zeiss ETH-4 (Opton, 1986), Topcon DT-200 (objavljeno z dovoljenjem GeoWild Sarajevo) in Ruide Disteo 23 (Ruide, n. d.).

6 PRECIZNI ELEKTRONSKI TEODOLITI ZA POSEBNE NAMENE

6.1 Splošne lastnosti preciznih elektronskih teodolitov

Najbolj izpopolnjeno in najmanjšo skupino teodolitov predstavljajo instrumenti visoke natančnosti, ki so namenjeni kompleksnim nalogam. Tu uporaba enostavnih teodolitov in tahimetrov ni primerna. Standardni odklon merjene horizontalne smeri in zenitne razdalje takšnih instrumentov znaša $0,5''$ ($\sigma_{\text{ISO-THEO Hz,V}}$). Uporabljajo dinamični in statični absolutni način čitanja limbov. Opremljeni so z dvoosnimi kompenzatorji in kompleksnimi programi za terensko uporabo. To so posebej zasnovani teodoliti, ki so bili razviti predvsem za industrijsko uporabo, kot so določanje položaja ali usmerjanje strojnih elementov, ugotavljanje premikov

v določeni smeri, merjenje vertikalnih premikov ali zasuka gibljivih delov, laboratorijske meritve itd. Uporabljajo se tudi za kontrolne meritve med gradnjo in obratovanjem raznih objektov ipd. Takšni teodoliti so najpomembnejši del industrijskih merskih sistemov, kjer z zunanjim urezom določamo velikost in obliko objektov z visoko relativno natančnostjo. Za reševanje posebnih merskih nalog so v precizne elektronske teodolite vgrajeni posebni dodatki, kot so panfokalna optika daljnogleda, pogonski stopenjski motorji, CCD-kamere, sistemi za samodejno izostritev slike, sistemi za samodejno viziranje označenih in neoznačenih merskih točk ipd. Za posebne naloge inženirske geodezije so razvili tudi precizne elektronske teodolite, na katere je mogoče namestiti elektronske razdaljemere. V preglednici 1 so prikazani osnovni tehnični podatki izbranih modelov enostavnih, večnamenskih (univerzalnih) in preciznih elektronskih teodolitov.

Preglednica 1: Pregled elektronskih teodolitov (Spectra Geospatial, 2015; Topcon, 2009; Zeiss, 1995; Sokkia, n.d.; Leica Geosystems, 2009).

	Enostavni teodoliti		Univerzalni teodoliti		Precizni teodoliti
Proizvajalec in tip teodolita	Nikon NE-100	Topcon DT205L	Zeiss Eth2	Sokkia DT-4F	Leica TM6100A
Leto izdelave	2005	2003	1989	1999	2010
Način čitanja, kotna razdelba	Relativni, inkrementalna razdelba	Absolutni	Relativni, inkrementalna razdelba	Relativni, inkrementalna razdelba	Absolutni, štiri kodne linije
Natančnost merjenja kotov	10"	5"	0,5"	5"	0,5"
Vrsta kompenzatorja delovno področje / natančnost	–	Enoosni 3' / –	Dvoosni 2'40" / 0,5"	Dvoosni 3' / 1"	Dvoosni 4' / 0,5"
Uporabniški vmesnik	Zaslona (2 vrstici po 20 znakov), 5 tipk – v obeh krožnih legah	Zaslona (7 alfanumeričnih in grafičnih podatkov), 6 tipk – v obeh krožnih legah	Zaslona (2 vrstici s po 10 znaki) v obeh krožnih legah, 3 tipke na desni strani teodolita	Zaslona (4 vrstice po 20 znakov), 5 tipk – v obeh krožnih legah	Barvni zaslon na dotik (resolucija 320 x 240 pikselov), 34 tipk – v obeh krožnih legah
Masa teodolita	4,5 kg z notranjo baterijo	4,2 kg z notranjo baterijo	4,7 kg z notranjo baterijo 2,4 Ah	4,8 kg z notranjo baterijo 1,35 Ah	8,5 kg z notranjo baterijo 4,8 Ah
Registrator podatkov /kapaciteta /masa	–	FC2000* /128 MB /0,8 kg	REC500* /do 352 KB /1,2 kg	SDR 33* /640 KB (razširitev do 4 MB) / 0,74 kg	Notranji spomin / 256 MB CompactFlash kartica/ do 1024 MB / 10 g
Posebnosti	Stopnja zaščite pred prahom in vodo: IP54, napajanje iz 6 standardnih baterij AA	Stopnja zaščite pred prahom in vodo: IP66, napajanje iz 4 standardne baterije AA, laserski daljnogled	Možnost namestitve elektronskih razdaljemerov tipa Eldi 4 in Eldi 10	Kombiniranje s faznim razdaljemerom REDMini3 in MM100 (merjenje dolžin brez reflektorja do 100 m)	Panfokalni daljnogled z avtokolimatorjem (povečava od 13 x do 59 x), direktni piezo pogon alhidate in daljnogleda, lasersko grezilo, programi »on board«

*Zunanji regulator/računalnik, ki se s kablom priključuje na teodolit.

6.2 Razvoj preciznih elektronskih teodolitov

Tovarna Zeiss Oberkochen je na podlagi integriranega tahimetra Elta 2 (Tuno in sod., 2012) leta 1982 dala na trg precizni elektronski teodolit ITh 2. Instrument je opremljen s statičnim absolutnim sistemom čitanja limbov, standardno odstopanje merjene horizontalne smeri in zenitne razdalje pa znaša 0,6" ($\sigma_{\text{DIN18723-THEO-Hz,V}}$). Zeiss je razvil poseben sistem za industrijske meritve, pri katerem so signalizirano točko vizirali istočasno z dvema takšnima teodolitoma (zunanji urez). Prenos merskih podatkov na namizni računalnik je potekal samodejno, s posebnim programom pa so se računale 3D-koordinate opazovanih točk (Zeiss Archiv, n.d.). Podobne sisteme so hitro pričeli razvijati tudi drugi proizvajalci, njihova osnova pa so bili univerzalni precizni teodoliti Wild T2000 in Kern E2 (glej poglavje 4). Od leta 1984 je tovarna Wild izdelovala teodolit T2000S z bistveno boljšim panfokalnim daljnogledom, ki je omogočal vgradnjo avtokolimacijskega dodatka v okularni del. Teodolit T2000S je imel zmogljivosti standardnega T2000, zaradi naprednejšega daljnogleda pa je imel veliko širše področje uporabe (Wild, 1985). Z nadaljnjim izpopolnjevanjem tega instrumenta je leta 1989 nastal teodolit T3000, katerega daljnogled je Wild razvil v sodelovanju z Evropsko vesoljsko agencijo (50 years of..., 2014). Posebej zanimiva je njegova motorizirana različica TM3000D, na katero je mogoče namestiti razdaljemer, instrument pa upravljamo z »joystickom« prek zunanje enote (Wild Leitz, 1989). Podoben servoteodolit E2-ST je nekoliko prej razvila tovarna Kern. Instrument E2-ST je omogočal grobo viziranje na podlagi znanih koordinat stojišča in merjene točke, v postopku finega viziranja pa se je položaj prizme na ciljni točki določil na podlagi maksimalnega odboja žarka pri merjenju dolžin. Precizni motorizirani teodoliti z razdaljemerji so omogočali avtomatizacijo dela pri ugotavljanju premikov in deformacij naravnih in grajenih objektov (Kern Swiss, 1988). Takrat nastanejo tudi prvi serijsko izdelani »inteligentni« merski sistemi, ki omogočajo samodejno fino viziranje. To so videoteodoliti Kern E2-SE in Wild TM3000V, ki so imeli poleg pogonov za vrtenje okrog osi in izostritev slike vgrajeno tudi CCD-videokamero. Merski sistem sta sestavljala dva ali več videoteodolitov, ki sta v povezavi s programsko opremo za grafično obdelavo omogočala visoko precizne kotne meritve na označene ali neoznačene točke objekta. Na podlagi meritev je bilo mogoče določiti prostorske koordinate točk (Benčić in Solarić, 2008).

Novo obdobje v razvoju preciznih elektronskih teodolitov je zaznamoval pojav instrumentov iz serije TPS5000 (TM5005, TM5100 in TM5100A), ki jih je tovarna Leica pričela izdelovati leta 1996. V nasprotju z najbolj natančnimi elektronskimi teodoliti iz osemdesetih let, ki so nastali z razvojem univerzalnih preciznih instrumentov in so imeli zelo široko področje uporabe, je instrument TM5100A zasnovan kot teodolit za posebne industrijske meritve. Od svojega predhodnika T3000 je nasledil panfokalni daljnogled visoke kakovosti. Daljnogled omogoča viziranje merskih točk na razdaljah, večjih od 0,6 metra, povečava daljnogleda pa se spreminja z oddaljenostjo do točke od 13-kratne do 59-kratne, odvisno od uporabljenega okularja. Natančnost viziranja je zato tako rekoč neodvisna od oddaljenosti do merske točke. Avtokolimacijski dodatek je vgrajen v okularnem delu daljnogleda. Namesto dinamičnega načina čitanja limba imajo teodoliti serije TPS5000 vgrajen naprednejši absolutni način, kjer je uporabljeno čitanje na štiri kodne linije in ne le na eno (kot pri na primer T1100). Tako odpravimo sistematične in periodične pogreške, kar omogoča doseganje zelo visoke natančnosti velikosti 0,5" ($\sigma_{\text{ISO-THEO Hz,V}}$) (Gottwald in sod., 1997; Leica Geosystems, 2001).

Leica Geosystems je leta 2010 predstavila najnovejši precizni elektronski teodolit TM6100A. Instrument ima podoben daljnogled kot TM5100A in je oblikovalsko bolj dovršen. Ima VGA LCD-barvni zaslon

na dotik, ki podpira prikaz kompleksne grafike. Notranji pomnilnik ima občutno več prostora (256 MB), PCMCIA-kartice pa so nadomestili z modernimi CompactFlash karticami (Leica Geosystems, 2009). Velik napredek tega instrumenta glede na predhodne modele je viden v vgradnji naj sodobnejših pogonov – Leica Direct Drive, ki deluje po načelu obrnjenega piezoelektričnega efekta in neposredno pretvarja električno napetost v mehansko gibanje (Solaric in sod., 2011).



Slika 6: Servoteodolit Kern E2-ST (objavljeno z dovoljenjem Stadtmuseum Aarau, Sammlung Kern. Foto: Aldo Lardelli), video-teodolit Wild TM3000V (Wild Leitz, 1989) in industrijski teodolit Leica Geosystems TM6100A (objavljeno z dovoljenjem Geokom Sarajevo).

7 SKLEP

Zanimivo je spremljati, kako se je elektronski teodolit od svojih prvih okornih prototipov skozi leta razvil v učinkovit merski sistem, ki je uporaben za reševanje različnih nalog. Viden razvoj teh instrumentov sega v zgodnja 80. leta prejšnjega stoletja. Že takrat je mogoče elektronske teodolite razlikovati glede na namen, natančnost, funkcionalnost itd. V tem prispevku so teodoliti razvrščeni v tri osnovne skupine. Meje med skupinami niso strogo določene, saj se njihove značilnosti včasih prepletajo. Univerzalni elektronski teodoliti so kot osnovni sestavni deli modularnega sistema tahimetrov prevladovali v osemdesetih in devetdesetih letih prejšnjega stoletja. Takšne instrumente so postopoma zamenjali integrirani tahimetri in v poznih devetdesetih letih se je zdelo, da »čistokrvni« teodolit nima več kaj iskati med modernimi geodetskimi instrumenti. Kljub vse večji uporabi številnih različnih modelov elektronskih tahimetrov, instrumentov GNSS, laserskih skenerjev itd. klasični elektronski teodolit kot samostojni instrument preživi vse do danes in ima še vedno pomembno vlogo. Razlog so predvsem številni nezahtevni uporabniki, ki potrebujejo predvsem poceni instrument za preproste kotne meritve ter reševanje osnovnih praktičnih nalog na gradbiščih. Za zadovoljevanje takšnih potreb so preprosti elektronski teodoliti najbolj smiselna izbira. Zaradi poceni in tehnološko nezahtevne izdelave jih proizvajajo v številnih tovarnah v različnih državah in jih prodajajo po zelo nizkih cenah. Verjetno se bo razvoj te skupine teodolitov nadaljeval,

tehnične rešitve pa se bodo osredotočale na izboljšanje lastnosti, ki omogočajo delo v oteženih razmerah na gradbiščih. Edini proizvajalec vrhunskih preciznih elektronskih teodolitov je ostala tovarna Leica Geosystems. Aktualni instrument TM6100A dokazuje, da tudi v sodobnih razmerah obstaja potreba po tej vrsti instrumentov. V primerjavi z osemdesetimi in devetdesetimi leti prejšnjega stoletja, za katera so bili značilni večnamenski elektronski teodoliti visoke natančnosti, se je danes obdržal le instrument, ki je namenjen ozkemu segmentu opravil v okviru industrijskih meritev. Leica in panfokalni avtokolima-cijski daljnogled neprekosljive kakovosti je zagotovo temelj za razvoj prihodnje generacije industrijskih teodolitov.

Zanimivo je, da so današnji elektronski teodoliti z izjemo modela Leica TM6100 kljub hitremu in nezapravnemu napredku geodetske merske tehnike v zadnjem času po svojih značilnostih, z izjemo boljše odpornosti proti prahu in vodi, v izrazito podrejenem položaju glede na univerzalne elektronske teodolite, izdelane pred dvema ali tremi desetletji.

Literatura in viri:

- 50 years of Wild Heerbrugg and Leica Geosystems in the UK (2014). <http://www.pvpubs.com/50YearsOfLeica/50YEARSOFLEICA/HTML/files/assets/common/downloads/publication.pdf>, pridobljeno 26. 4. 2019.
- Aeschlimann, H. (1978). Ein Gerätesystem zur automatischen Registrierung von Messwerte. Aarau: Kern & Co. AG.
- Aeschlimann, H. (2008). Some Remarks about the Technical Background of Kern & Co Aarau. Stockholm: Integrating the Generations, FIG Working Week 2008.
- Ali, A. E. (1991). Electronic Theodolites: Comparison Test. *Journal of Surveying Engineering*, 117 (1), 3–8. DOI: [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)0733-9453\(1991\)117:1\(3\)](https://doi.org/10.1061/(ASCE)0733-9453(1991)117:1(3))
- Ali, A. E. (2001). Stadia Tacheometry with Electronic Theodolites. *Journal of King Saud University – Engineering Sciences*, 13 (1), 25–36. DOI: [https://doi.org/10.1016/S1018-3639\(18\)30723-2](https://doi.org/10.1016/S1018-3639(18)30723-2)
- Benčić, D. (1990). Geodetski instrumenti. Zagreb: Školska knjiga.
- Benčić, D., Solarić, N. (2008). Mjerni instrumenti i sustavi u geodeziji i geoinformatici. Zagreb: Školska knjiga.
- Bingley, R. M. (1990). Electronic theodolite intersection systems. PhD thesis. University of Nottingham.
- Brooke, G. M. (1988). The use of encoded discs in the angle measurement systems of modern theodolites. *Australian Surveyor*, 34 (1), 27–32. DOI: <https://doi.org/10.1080/00050326.1988.10439001>
- Cooke, F. (1968). Breithaupt Digigon Digital Theodolite. *Applied Optics*, 7 (6), 1005–1006. DOI: <https://doi.org/10.1364/ao.7.001005>
- Courbon, P. (2007). Topographie: un demi-siècle d'évolution technologique, partie 2/4. *Revue XYZ*, 111 (2), 31–42.
- Deumlich, F., Staiger, R. (2002). *Instrumentenkunde der Vermessungstechnik*. Heidelberg: Herbert Wichmann Verlag.
- Erickson, K. E. (1978). The K&E Vectron Electronic Surveying System. *The Ontario Land Surveyor*, 1978, 6–8.
- Fialovszky, L. (1991). *Surveying Instruments and their Operational Principles*. Developments in Geotechnical Engineering, 62. Amsterdam: Elsevier Science.
- Hauf, M. (1978). *Elektronnye teodolity i taheometry*. Moskva: Nedra.
- Herr, R. (n. d.). *Sammlung des Geodätischen Instituts: Heliotrope, Passageinstrumente, Spiegelkreise, Sextanten, Tachymeter, Theodolite, Universalinstrumente und Modelle*. Geodätisches Institut der Leibniz Universität Hannover. <https://www.gih.uni-hannover.de/fileadmin/gih/pdf/instrumente/theodolite.pdf>, pridobljeno 10. 1. 2019.
- Gottwald, R., Müller, I., Obrist, M. (1997). Leica TDA5000 – Short Range Performance Tests using Corner Cube and Tooling Ball Reflectors. Argonne IL: IWAA97 – 5th International Workshop on Accelerator Alignment.
- Imre, L., Magyar, G., Szántó, T., Telek, G. (2015). *Feyzetek a Magyar Optikai Művek és utódai történetéből 1876–2015*. Budapest: MOM Emlékalapítvány.
- Kamphorst, W. (1987). Marktverzeichnis tachymeters met registratiemogelijkheden. *Nederlands geodetisch tijdschrift Geodesia*, 29 (7-8), 275–281.
- Katowski, O., Salzmann, W. (1983). The angle measurement system in the Wild Theomat T-2000. Wild Heerbrugg: Wild Heerbrugg AG.
- Kern Swiss (1985a). Kern E2 Elektronischer Präzisions-theodolit. Aarau: Kern & Co. AG.
- Kern Swiss (1985b). Modulares Gerätesystem Kern. Aarau: Kern & Co. AG.
- Kern Swiss (1988). E2-ST Der Servotachymeter. Aarau: Kern Swiss.
- Ketteman, M. R. (1985). The application of automated mine survey systems to mine surveying practice (PhD thesis). Nottingham: University of Nottingham.
- Leica (1993). *Vermessungsinstrumente*. Heerbrugg: Leica AG.
- Leica Geosystems (1998). *Leica TPS – System1000, User Manual*. Heerbrugg: Leica Geosystems AG.
- Leica Geosystems (2001). *TPS5000*. Heerbrugg: Leica Geosystems AG.
- Leica Geosystems (2009). *Leica TM6100A, User Manual*. Heerbrugg: Leica Geosystems AG.
- Matthews, V. (1996). *Vermessungskunde, Teil 1: Fachgebiete Architektur - Bauingenieurwesen – Vermessungswesen*. Stuttgart: Teubner.

Opton (1986). Opton ETH4. Oberkochen: Opton Feintechnik GmbH.

Point of Beginning (2000). Survey grade total stations. Point of Beginning, January 2000, 31–58.

Ruide (n. d.). Disteo 23. Guangzhou: Ruide.

Rüeger, J. M., Alanko, G. (1995). Building monitoring with a surveying robot. *Survey Review*, 33 (258), 218–230. DOI: <https://doi.org/10.1179/sre.1995.33.258.218>

Rüeger, J. M. (2006). 75 Years of Change in Survey Technology. *Survey Review*, 38 (300), 459–473. DOI: <https://doi.org/10.1179/sre.2006.38.300.459>

Solarić, N., Solarić, M., Barković, Đ. Zrinjski, M. (2011). Nova tehnološka dostignuća u konstrukcijama integriranih mjernih stanica. *Geodetski list*, 65 (88, 4), 311–322.

Solarić, N., Špoljarić, D. (1992). Accuracy of the automatic astronomical azimuth determination by Polaris with Leica-Kern E2 electronic theodolite. *Surveying and Land Information Systems*, 52 (2), 80–85.

Sokkia (n. d.). DT2E-DT4E-DT4F – Voll-digitale Theodolite mit automatischer Zweiachsenkompensation. Tokyo: Sokkia Co., Ltd.

Sokkia Museum (2020). https://www.topcon.co.jp/positioning/sokkia/sokkia_museum, pridobljeno 3. 1. 2020.

Spectra Geospatial (2015). Nikon NE-100 and NE-101 Theodolites, <https://spectrageospatial.com/nikon-theodolites>, pridobljeno 7. 1. 2019.

Sydenham, P.H. (1969). Manual and automatic large-scale dimensional metrology. PhD thesis. Coventry: University of Warwick.

The California Surveyor (1986). The first E – Zeiss ETH4. *California Surveyor*, (83) 7.

Theodolite with coded indications. (1965). <https://www.google.com/patents/US3200696#forward-citations>, pridobljeno 7. 5. 2018.

Topcon (2009). DT-200/DT-200L Series. Tokyo: Topcon Corporation.

Topcon museum. (2020). <http://www.topcon.co.jp/en/positioning/museum>, pridobljeno 3. 1. 2020.

Tuno, N. (2005). Analiza tačnosti mjerenja pravca elektronskim teodolitom. *Geodetski glasnik*, 38, 14–22.

Tuno, N., Mulahusić, A., Kogoj, D. (2012): Od Reg Elta do Spatial Station: Štiri desetletja elektronskih tahimetrov Zeiss (Trimble). *Geodetski vestnik*, 56 (3), 415–426. DOI: <https://doi.org/10.15292/geodetski-vestnik.2012.03.415-426>

Tuno, N., Mulahusić, A., Marjetič, A., Kogoj, D. (2010). Pregled razvoja elektronskih tahimetrov Leica Geosystems. *Geodetski vestnik*, 54 (4), 643–660. DOI: <https://doi.org/10.15292/geodetski-vestnik.2010.04.643-66>

Tuno, N., Mulahusić, A., Savšek, S., Kogoj, D. (2019). Pet generacij integriranih elektronskih tahimetrov. *Geodetski vestnik*, 63 (1), 41–56. DOI: <https://doi.org/10.15292/geodetski-vestnik.2019.01.41-56>

Zeiss (1995). ETH2 Electronic Precision Theodolite. Oberkochen: Carl Zeiss.

Zeiss Archiv (n. d.). <http://www.archive.zeiss.de>, pridobljeno 3. 9. 2019.

Zetsche, H. (1968). Die Bildung der Sekundenschritte beim Digitaltheodolit Digigon. *Zeitschrift für Vermessungswesen*, 1968 (1), 22.

Zwickert, E. (1964). Der Fennel-Code-Theodolit FLT. *Vermessungstechnische Rundschau*, 1964 (10), 397.

Virtual Archive of Wild Heerbrugg – Product Overview Theodolites. (n.d.). <http://www.wild-heerbrugg.com/theodolites.htm>, pridobljeno 3. 9. 2019.

Wild (1985). Elektronische Theodolite und Tachymeter WILD T2000, TC2000, T2000S. Heerbrugg: Wild Heerbrugg AG.

Wild Leitz (1989). WILD TM3000 Automatische messstation. Heerbrugg: Wild Leitz AG.

Yang, Z., Li, G., He, L. (2011). Measurement methods and precision analysis of optical collimation. *Infrared and Laser Engineering*, 40 (2), 282–286.



Tuno N., Savšek S., Mulahusić A., Kogoj D. (2020). Elektronski teodoliti – razvoj in klasifikacija. *Geodetski vestnik*, 64 (2), 182–197. DOI: <https://doi.org/10.15292/geodetski-vestnik.2020.02.182-197>

izr. prof. dr. Nedim Tuno, univ. dipl. inž. geod.
 Univerza v Sarajevu, Građevinski fakultet
 Patriotske lige 30, BlH-71000 Sarajevo
 e-naslov: nedim_tuno@gf.unsa.ba

doc. dr. Simona Savšek, univ. dipl. inž. geod.
 Univerza v Ljubljani, Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo
 Jamova cesta 2, SI-1000 Ljubljana
 e-naslov: simona.savsek@fgg.uni-lj.si

izr. prof. dr. Admir Mulahusić, univ. dipl. inž. geod.
 Univerza v Sarajevu, Građevinski fakultet
 Patriotske lige 30, BlH-71000 Sarajevo
 e-naslov: admir_mulahusic@gf.unsa.ba

izr. prof. dr. Dušan Kogoj, univ. dipl. inž. geod.
 Univerza v Ljubljani, Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo
 Jamova cesta 2, SI-1000 Ljubljana
 e-naslov: dusan.kogoj@fgg.uni-lj.si

ANALIZA DEFORMACIJE JEZU Z ROBUSTNIMI UTEŽNIMI FUNKCIJAMI

ANALYSIS OF DAM DEFORMATION WITH ROBUST WEIGHT FUNCTIONS

Berkant Konakoğlu

UDK: 528.48:627.82(560Deriner):
Klasifikacija prispevka po COBISS.SI: 1.01
Prispelo: 24. 4. 2020
Sprejeto: 12. 6. 2020

DOI: 10.15292/geodetski-vestnik.2020.02.198-213
SCIENTIFIC ARTICLE
Received: 24. 4. 2020
Accepted: 12. 6. 2020

IZVLEČEK

Gradbeni objekti, kot so mostovi in jezovi, so izpostavljeni različnim deformacijam, ki jih moramo stalno spremljati. V preteklosti so bili razviti različni pristopi za preučevanje obnašanja grajenega ali naravnega objekta. Najpomembnejša naloga pri deformacijski analizi je določiti, ali so točke stabilne ali nestabilne. V raziskavi so bile uporabljene različne robustne utežne funkcije za določitev stabilnosti oziroma nestabilnosti točk na primeru jezua Deriner, pri čemer smo uporabili podatke opazovanj GNSS (angl. Global Navigation Satellite System) iz štirih terminskih izmer. Pri tem smo uporabili Andrewsovo, Beaton-Tukeyjevo, Cauchyjevo, dansko, Fairovo, German-McClurejevo, Hampelovo, Huberjevo, L1 in L1–L2 robustno funkcijo. Na podlagi rezultatov izračunov smo ocenili lastnosti uporabljenih metod deformacijske analize. Ne glede na metodo, ki je bila uporabljena, se je izkazalo, da so skoraj vse opazovane točke na jezua Deriner v obravnavanem 1,5-letnem obdobju nestabilne. Položaji točk so bili nedvoumno pod vplivom vodne obremenitve. Izkazalo se je tudi, da so horizontalni premiki opazovanih točk, ki so bili določeni na podlagi opazovanj GNSS in robustnih utežnih funkcij, podobni za vse uporabljene metode – izjema so rezultati izračuna po metodi L1–L2. Vsi ti rezultati so bili primerljani še z izračuni po metodi Θ^2 . Glede na izračune, pridobljene po tej metodi, lahko ugotovimo, da so rezultati primerljivi, čeprav je bila v preteklosti metoda Θ^2 obravnavana kot primernejša.

KLJUČNE BESEDE

deformacijska analiza, GNSS, stabilnost točke, robustna utežna funkcija, jez Deriner

ABSTRACT

Civil engineering structures (e.g., bridges, dams) are exposed to deformation under the influence of various factors such as water level changes, landslides, tectonic phenomena, etc. These deformations must be periodically monitored. Various deformation analysis approaches have been developed to describe the behaviour of a structure or natural process. The most significant task in deformation analysis is to correctly classify whether the points are stable or unstable. In this study, various robust weight functions for determination of stable/unstable points were applied to the Deriner Dam using GNSS (Global Navigation Satellite System) data measured over four different periods. The robust weight functions examined included the Andrews, Beaton–Tukey, Cauchy, Danish, Fair, German–McClure, Hampel, Huber, L1, and L1–L2. Test results were evaluated, and the performances of the different deformation analysis methods were determined. It was concluded that the horizontal deformations based on GNSS data determined by these robust weight functions were in good agreement with each other, except for the L1–L2. The results of all approaches were also compared with the results of the Θ^2 -Criteria method. According to the results obtained, although the Θ^2 -Criteria and the robust methods yielded nearly similar results, the results of the Θ^2 -Criteria method were thought to be more reliable.

KEY WORDS

Deformation analysis, GNSS, Point stability, Robust weight functions, Deriner Dam

1 INTRODUCTION

In Turkey, dams established with very substantial financial resources are the most important facilities for the management of our water. Dams are the structures that provide society with many different benefits such as energy, irrigation water, flood control, and recreational facilities. However, to ensure the sustainability of these benefits and to prevent future disasters, the existing dams must be safely operated and managed. Dam safety plays an important role in increasing the efficiency of these facilities. Geodetic and geotechnical/structural methods are used to carry out investigations into possible deformation (Setan and Sing, 2001; Setan et al., 2003; Erol et al., 2004). The non-geodetic (geotechnical) methods use instruments such as accelerometers, extensometers, inclinometers, magnetic columns, piezometers, tiltmeters, pendulums, vibration meters, and strainmeters (Amiri-Simkooei et al., 2017). The geodetic method is based on geodetic networks that are established and periodically measured using different methods (i.e., total station measurements, levelling, GNSS) (Scaioni et al., 2018). The object or area under investigation is represented by several points consisting of stable landmarks or marked locations. The points are then measured at least twice more at different times, and the results analysed. Statistically significant displacements are evaluated using deformation analysis methods found in the literature, including those based on the congruency test (Niemeier, 1981; Pelzer, 1971, 1974) and methods based on robust estimation, specifically on the robust M-estimation (Nowel, 2015a, 2015b; Nowel and Kamiński, 2014), the M-split estimation (Duchnowski and Wiśniewski, 2012; Wiśniewski, 2009, 2010) and the R-estimation (Duchnowski, 2013; Duchnowski and Wiśniewski, 2017).

A wealth of studies can be found in the literature covering geodetic deformation monitoring for stability and safety in various types of dams (Acosta et al., 2018; Alcay et al., 2018; Barzaghi et al., 2018; Bayrak, 2008; Gikas and Sakellariou, 2008; Guler et al., 2006; Kalkan, 2014; Manake and Kulkarni, 2002; Saidi et al., 2017; Taşçi, 2008; Xiao et al., 2019). Bayrak (2007) evaluated the vertical displacements of the Yamula Dam based on terrestrial geodetic measurement operations during the first filling of the reservoir. Six reference and nine object points were utilised to detect the vertical movements. A total station (Sokkia 530R) was used to collect the height data. Measurements were carried out over four periods (December 2003, March 2004, November 2004 and April 2005). The free network adjustment technique was applied to adjust each measurement period. Geodetic measurements were then analysed using models based on the static global congruency test, the kinematic Kalman-Filter, and the dynamic Kalman-Filter. Each model yielded consistent results. The results indicated that reservoir water level changes were a significant triggering factor for Yamula Dam deformation. Besides, compared to other deformation models, the developed dynamic model presented the relationship between the vertical movements and the reservoir level changes. Taşçi (2010) evaluated the horizontal displacements of the Altinkaya Dam by means of the GPS (Global Positioning System) measurement technique. To monitor the displacements, six reference and ten object points were installed at the dam crest and around it. The first measurement operation was performed on 21 September 2000. Three more measurement assessments were then carried out (5 May 2001, 20 September 2001, and 27 May 2002). The iterative weighted similarity transformation, least absolute sum, congruency test, and Fredericton approach were utilised to determine the stable/unstable points. The points with a horizontal displacement greater than or equal to 4 mm were considered as unstable. The results also showed that horizontal displacements could occur in the middle part of the dam caused by the reservoir water level. Yigit et al. (2016) established a geodetic network of ten reference

and nineteen object points to investigate the horizontal deformations at the crest of the Ermenek Dam. In their study, a conventional measurement method (a total station with a prism) and a conventional deformation analysis technique were used and Pope's test was adopted to detect outlying observation(s). The results indicated that there was a correlation between relative movements and reservoir water load. Furthermore, it was concluded that a 58–m increase in water level caused a movement of about 1 cm on the dam crest. Yavaşoğlu et al. (2018) investigated the long-term (over ten years) behaviour of the Atatürk Dam on the Euphrates River in Turkey. Conventional and GNSS (Global Navigation Satellite System) data were used to monitor measured deformations. Furthermore, conventional deformation and strain analysis were also applied. It was concluded that the strain and deformation analysis results were compatible with each other. The results also demonstrated that the dam body had become more stable, and the displacement rate of the dam had decreased significantly despite the increase in the water load. Using GNSS, Konakoglu et al. (2020) evaluated the horizontal and vertical movements of Deriner Dam analysed using the θ^2 -Criteria (classical deformation) method to determine the statistically displaced points in a geodetic deformation network. They found significant horizontal and vertical movements on the dam crest. However, the vertical movements were deemed erroneous because they were higher than expected. Only the θ^2 -Criteria method was used to detect stable/unstable points in the Deriner Dam.

The aim of this present study was to evaluate the horizontal displacements of the Deriner Dam using ten different robust weight functions. In view of the above, the Andrews, Beaton–Tukey, Cauchy, Danish, Fair, German–McClure, Hampel, Huber, L1, and L1–L2 robust weight functions were applied. The performances of these functions were investigated to evaluate their behaviours and similarities in the detection of existing deformations. Afterwards, the results were compared with those of the θ^2 -Criteria method.

This paper is organised as follows. The introduction section provides a brief review of the ten weight functions used for detecting stable/unstable points in a geodetic deformation network: the Andrews, Beaton–Tukey, Cauchy, Danish, Fair, German–McClure, Hampel, Huber, L1, and L1–L2. The following section introduces the study area, the geodetic deformation network used, and the GNSS measurements. The subsequent section presents the results based on the deformation analyses, and the findings are discussed by comparing them with the results of the θ^2 -Criteria method. Finally, some conclusions are given in the last section.

2 ROBUST METHODS

Robust methods have been applied in scientific fields more frequently after the publication of Huber's article (Huber, 1964). These methods are used to predict the tendency of point displacing and have a wide range of applications for deformation detection. Robust methods are based on the S -transformation (Helmert's similarity transformation), as expressed in Eq. (1).

$$\left. \begin{aligned} \hat{\mathbf{d}}^{(k)} &= \mathbf{S}^{(k)} \mathbf{d} \\ \mathbf{Q}_d^{(k)} &= \mathbf{S}^{(k)} \mathbf{Q}_d (\mathbf{S}^{(k)})^T \\ \mathbf{W}^{(k+1)} &= \text{diag}(\dots, w_i^{(k+1)}, \dots) \end{aligned} \right\}_{k=1,2,\dots} \tag{1}$$

where \mathbf{d} = the displacement vector; \mathbf{Q}_d = its cofactor matrix; $\mathbf{S}^{(k)} = \mathbf{I} - \mathbf{Q}(\mathbf{H}^T \mathbf{W}^{(k)} \mathbf{H})^{-1} \mathbf{H}^T \mathbf{W}^{(k)}$; \mathbf{I} = the identity matrix; and \mathbf{H} = the inner constraints datum matrix, which spans the null space of the design matrix. In the first iteration ($k = 1$), the weight matrix is accepted as $\mathbf{W}^{(k)} = \mathbf{I}$ (Setan and Singh, 2001).

Several robust weight functions have been proposed and commonly used to solve geodetic problems. For example, if the Huber weight function is adopted for the displacement problem, in the subsequent iterations, the weights of the points will be determined as shown in Eq. (2) (Chen, 1983; Chen et al., 1990).

$$w_i = \begin{cases} 1 & |\hat{d}_i| \leq q_i \\ \frac{q_i}{|\hat{d}_i|} & |\hat{d}_i| > q_i \end{cases} \tag{2}$$

where \hat{d}_i = the given component of vector \mathbf{d} for point i (\hat{d}_{x_i} or \hat{d}_{y_i}); $q_i = c\hat{\sigma}_{\hat{d}_i}$ is the tuning constant; c = a suitable factor (e.g., = 1.5); and $\hat{\sigma}_{\hat{d}_i}$ = the standard deviation estimate for the corresponding component of the displacement vector \hat{d}_i ($\hat{\sigma}_{\hat{d}_{x_i}}$ or $\hat{\sigma}_{\hat{d}_{y_i}}$).

The displacement vector components depend on the orientation of the reference system of the network, which is determined by approximate coordinates. Caspary and Borutta (1987), Caspary et al. (1990), and Caspary (2000) proposed that the best solution may be for the weight function variables to be the lengths of the displacement vectors. For example, if the Huber weight function is the weight function and the variables are in the form of the lengths of the displacement vectors, then the weight function will take this form, as in Eq. (3).

$$w_i = \begin{cases} 1 & |\hat{s}_i| \leq q_i \\ \frac{q_i}{|\hat{s}_i|} & |\hat{s}_i| > q_i \end{cases} \tag{3}$$

where $\hat{s}_i = \sqrt{\hat{d}_{x_i}^2 + \hat{d}_{y_i}^2}$; $q_i = c\hat{\sigma}_{\hat{s}_i}$; and $\hat{\sigma}_{\hat{s}_i}^2 = \left(\frac{\hat{d}_{x_i}}{\hat{s}_i}\right)^2 \hat{\sigma}_{\hat{d}_{x_i}}^2 + 2\frac{\hat{d}_{x_i}}{\hat{s}_i}\frac{\hat{d}_{y_i}}{\hat{s}_i}\hat{\sigma}_{\hat{d}_{x_i}\hat{d}_{y_i}}^2 + \left(\frac{\hat{d}_{y_i}}{\hat{s}_i}\right)^2 \hat{\sigma}_{\hat{d}_{y_i}}^2$ (e.g. Savšek-Safić et al., 2006).

The iterative procedure given in Eq. (1) continues until the differences between the displacements of all common points $|\mathbf{d}^{(k+1)} - \mathbf{d}^{(k)}|$ are less than the tolerance value ε (i.e., 0.0001 m.).

2.1 Other weight functions of robust methods used in this study

- Andrews weight function (Andrews, 1974)

The Andrews weight function assumes the form of Eq. (4).

$$w_i = \begin{cases} \left(\sin \frac{\hat{s}_i}{q_i} \left(\frac{\hat{s}_i}{q_i}\right)^{-1}\right) & |\hat{s}_i| \leq q_i\pi \\ 0 & |\hat{s}_i| > q_i\pi \end{cases} \tag{4}$$

where $q_i = c\hat{\sigma}_{\hat{s}_i}$; $c = 1.5$.

- Beaton–Tukey weight function (Beaton and Tukey, 1974)

The Beaton–Tukey weight function assumes the form of Eq. (5).

$$w_i = \begin{cases} \left[1 - \left(\frac{\hat{s}_i}{q_i} \right)^2 \right]^2 & |\hat{s}_i| \leq q_i \\ 0 & |\hat{s}_i| > q_i \end{cases} \tag{5}$$

where $q_i = c\hat{\sigma}_i$; $c = 1.5$.

- Cauchy weight function (Pennacchi, 2008)

The Cauchy weight function assumes the form of Eq. (6).

$$w_i = \frac{1}{1 + \left(\frac{|\hat{s}_i|}{q_i} \right)^2} \tag{6}$$

where $q_i = c\hat{\sigma}_i$; $c = 2.3849$.

- Danish weight function (Berberan, 1992)

The Danish weight function assumes the form of Eq. (7).

$$w_i = \begin{cases} 1 & |\hat{s}_i| \leq q_i \\ \exp\left(-\frac{\hat{s}_i^2}{q_i^2}\right) & |\hat{s}_i| > q_i \end{cases} \tag{7}$$

where $q_i = c\hat{\sigma}_i$; $c = 3$.

- Fair weight function (Pennacchi, 2008)

The fair weight function assumes the form of Eq. (8).

$$w_i = \frac{1}{1 + \frac{|\hat{s}_i|}{q_i}} \tag{8}$$

where $q_i = c\hat{\sigma}_i$; $c = 1.3998$.

- German-McClure weight function (Pennacchi, 2008)

The German-McClure weight function assumes the form of Eq. (9).

$$w_i = \frac{1}{\left(1 + (\hat{s}_i)^2 \right)^2} \tag{9}$$

- Hampel weight function (Hampel et al., 1986)

The Hampel weight function assumes the form of Eq. (10).

$$w_i = \begin{cases} 1 & 0 < |\hat{s}_i| \leq q_i \\ \frac{q_i}{|\hat{s}_i|} & q_i < |\hat{s}_i| \leq u_i \\ \frac{q_i(v_i - |\hat{s}_i|)}{|\hat{s}_i|(v_i - u_i)} & u_i < |\hat{s}_i| \leq v_i \\ 0 & |\hat{s}_i| > v_i \end{cases} \tag{10}$$

where $q_i = a\hat{\sigma}_i$; $u_i = b\hat{\sigma}_i$; $v_i = c\hat{\sigma}_i$; $a = 1.5$; $b = 3$; and $c = 6$ (Erenoglu and Hekimoglu 2007).

- L1 weight function (Pennacchi, 2008)

The L1 weight function assumes the form of Eq. (11).

$$w_i = \frac{1}{|\hat{d}_i|} \tag{11}$$

- L1-L2 weight function (Pennacchi, 2008)

The L1-L2 weight function assumes the form of Eq. (12).

$$w_i = \frac{1}{\sqrt{1 + \frac{(\hat{d}_i)^2}{2}}} \tag{12}$$

Two hypotheses were proposed to investigate whether there were any statistically significant movements during the time span between two periods: the null hypothesis (H_0) and the alternative hypothesis (H_A), expressed as Eqs. (13) and (14), respectively.

$$H_0 : E(\hat{d}) = E(\hat{x}_2) - E(\hat{x}_1) = \mathbf{0} \tag{13}$$

and

$$H_A : E(\hat{d}) = E(\hat{x}_2) - E(\hat{x}_1) \neq \mathbf{0} \tag{14}$$

where E = the expectation operator. If H_0 is true, it means that there was no significant deformation for any of the geodetic network points. In the opposite case, a group of geodetic network points did not remain stable during the time span between the two periods and the final displacement vector d and its final cofactor matrix Q_d are obtained from the final iteration.

In order to decide whether or not \hat{d}_i might be interpreted as displacement, the test formula was set as in Eq. (15).

$$T_i = \frac{(\hat{d}_i^{(k+1)})^T (Q_{\hat{d}_i}^{(k+1)})^{-1} \hat{d}_i^{(k+1)}}{\hat{\sigma}_0^2 b_i} \sim F(1 - a, b_i, f) \tag{15}$$

where $\hat{\sigma}_0^2$ = the pooled variance factor estimator for the two measurement periods; F = Fisher's distribution; a = the significance level (generally $a = 0.05$); $b_i = rank(Q_{\hat{d}_i}^{-1})$; and f = the number degrees of freedom for all measurement periods. If the aforementioned test is failed (i.e., $T_i > F(1 - a, b_i, f)$), this means that point i can be regarded as unstable; otherwise, it can be stated that this point was not significantly displaced.

3 STUDY AREA, GEODETIC DEFORMATION NETWORK USED AND GNSS MEASUREMENTS

The Deriner Dam, which is a double-curvature concrete dam, was constructed in the north-eastern Black Sea Region of Turkey (Fig. 1). This structure is one of the highest arc dams in the world. It was built under the Coruh River Basin master plan. This plan includes 30 dams. The Deriner project was begun in 1998 and completed in 2013 and has a designed maximum storage capacity of 1.970 million m³. The height of the Deriner Dam is 249 m and its crest length is 720 m, with the crest width of the crown

cantilever measuring 12 m. The dam provides a significant amount of energy to Turkey. With its four vertical energy generation units, the dam is estimated to produce 2,300 GWh of electrical energy annually.

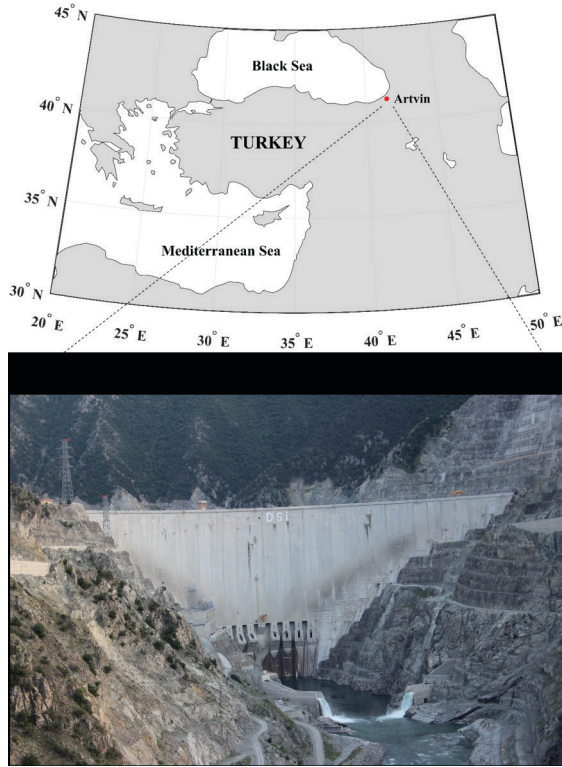


Figure 1: Location of Artvin and the Deriner Dam.

The geodetic deformation network consists of twelve reference and seven object points used to monitor the displacements via GNSS. Figure 2 presents the location of the reference and object points in the study area.

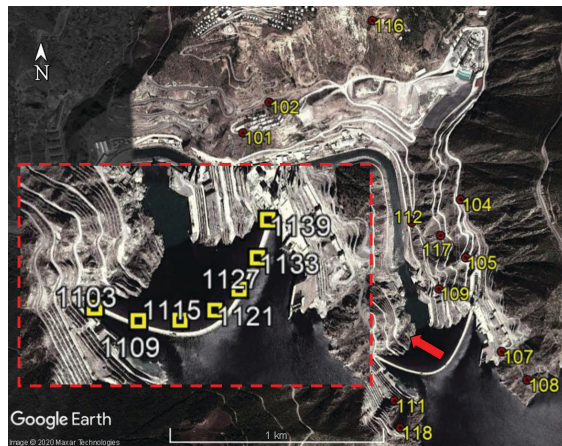


Figure 2: Reference and object points shown in Google Earth (Image ©2020 Maxar Technologies).

Four measurement operations were performed on the geodetic deformation network (May 2016, November 2016, May 2017, and August 2017). Each measurement operation was carried out on 2 consecutive days. Static GNSS observations were conducted in the points of this geodetic deformation network. The observation duration was set for at least two hours and one hour for the reference and object points. The elevation cut-off angle and the data-sampling rate was set to 15° and 10 sec, respectively. Four HiPer Pro and four GR5 receivers were used for all periods. Attention was paid to use GNSS receivers at the same points in all measurement periods. The GNSS receivers installed on a concrete pillar can be seen in Figure 3.



Figure 3: GNSS receivers on reference points 117 (left) and 104 (right).

The GNSS measurements were post-processed via the Magnet Tools 5.1 software. The Cartesian coordinate differences and cofactor matrices of these differences were then obtained. This software can give geocentric Cartesian coordinates in the World Geodetic System 1984 (WGS84) datum. In order to see the real direction of the displacement, all WGS84 geocentric Cartesian coordinates had to be transformed into the local topocentric coordinate system. The point 1139 was chosen as the origin of the topocentric coordinate system. For more information about the transformation procedure, one may refer to Yigit (2016). Each period was adjusted separately using the free network adjustment technique. The Huber M-estimation method was used to determine the outlying observation(s) (Huber, 1981). Since the vertical displacements in Konakoglu et al. (2020) were found to be erroneous, the vertical displacements were not analysed in this study. Water levels were about 389 m in May 2016, 377 m in November 2016, 364 m in May 2017, and 374 m in August 2017.

4 RESULTS AND DISCUSSION

To determine the displaced points in the Deriner Dam geodetic deformation network, a comparative analysis was carried out using ten different robust weight functions. The May 2016 period was taken as the reference period. First, the horizontal displacements (d) and test values (T) were calculated. Subsequently, the test values were compared with the F-distribution table to determine whether or not the displacements of the points were significant. The results of the reference and object points for the periods May–November 2016, May 2016–May 2017, and May 2016–August 2017 are given in Tables 1, 2, and 3, respectively. The stable or unstable expression of a point is shown in the decision column in the tables. If the point had significantly changed, the (✓) sign denotes “unstable”; otherwise, the (×) sign indicates “stable”. Test values (T) are also given in Figures 4, 5, and 6 for the periods May–November 2016, May 2016–May 2017, and May 2016–August 2017, respectively.

According to the results of the deformation analyses performed with different robust weight functions during the period between May and November 2016 (Table 1), the number of points determined as unstable included: 9 points with the Andrews, Beaton–Tukey, Cauchy, and Danish methods, 10 points with the Huber method, 14 points with the L1 method, 15 points with the German–McClure and Hampel methods, and 16 points with the Fair and L1–L2 methods. The Fair, German–McClure, Hampel, L1, and L1–L2 methods found almost the same number of points to be unstable during this period.

According to the results of the deformation analyses performed with different robust weight functions during the period between May 2016 and May 2017 (Table 2), the number of points determined as unstable included: 10 points with the Andrews, Beaton–Tukey, Cauchy, Danish, German–McClure, Hampel and L1 methods, 11 points with the Huber method, and 12 points with the Fair and L1–L2 methods. All robust methods determined the number of unstable points to be between 10 and 12 during this period.

According to the results of the deformation analyses performed with different robust weight functions during the period between May 2016 and August 2017 (Table 3), the number of points determined as unstable included: 7 points with the Cauchy, Danish, Hampel, and Huber methods, 9 points with the Fair method, German–McClure, and L1 methods, 10 points with the Andrews method, 12 points with the Beaton–Tukey method, and 15 points with the L1–L2 method. The Andrews, Beaton–Tukey, Cauchy, and Danish robust methods detected nearly the same number of unstable points, except for the period between May 2016 and August 2017. The reason for this difference may be that the test values of the unstable points in the period between May 2016 and August 2017 were very close to each other, but below the tolerance value.

By comparing the results of all the robust weight functions, the values of the displacement magnitudes calculated with the L1–L2 method were generally found to be higher than those of the other methods. Thus, this method detected many more unstable points compared with the other methods. This can be clearly seen from the calculated test values shown in Tables 1, 2, and 3.

Significant displacements were seen at object points 1115, 1121, and 1127, which are in the middle of the dam crest. Considering all the GNSS measurements performed in all periods, the largest horizontal

displacement (i.e., 2.60 cm) was experienced at object point 1121 at the middle of the dam crest. It was also seen that the horizontal displacements gradually decreased towards the right and left abutments. Despite this decrease, the horizontal displacements for object points 1103 and 1139 reached an average of 6–7 mm between the periods of May 2016 and May 2017. This may demonstrate that the left and right abutment sections of the dam were not rigid between these periods. Starting from May 2016 up to May 2017, the reservoir water level had dropped about 25 m. That was the reason for the excessive displacement on the left and right abutments. Although there was an increased difference in the reservoir water level from May 2016 to May 2017, a slowdown was observed in the displacements of the object points at the middle part of the dam.

Between the periods of May 2016 and November 2016, the horizontal displacements for object points 1103 and 1139 did not exceed about 3–4 mm in any of the models except L1 and L1-L2.

According to the results of the deformation analyses performed with different robust weight functions, the reference point 102 was determined as unstable in all period comparisons. Moreover, for the period between May 2016 and May 2017 reference point, 112 was detected to be unstable based on the results of all methods. The reference points are thought to act for another reason, considering that they are not affected by the water load.

The amounts of horizontal displacement for the periods May 2016–November 2016 and May 2016–August 2017 are very similar. The reason for this situation may be that the November 2016 and August 2017 periods had almost the same water levels.

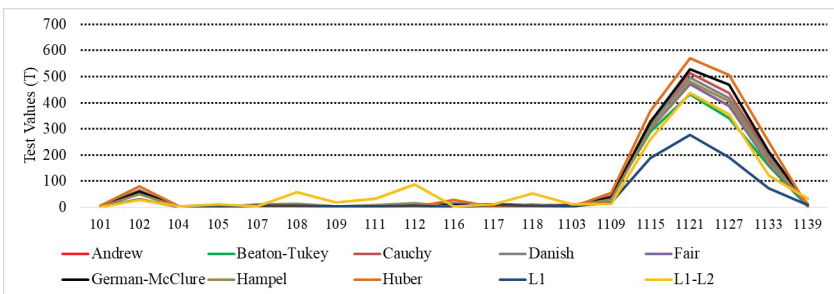


Figure 4: Calculated test values May 2016–November 2016.

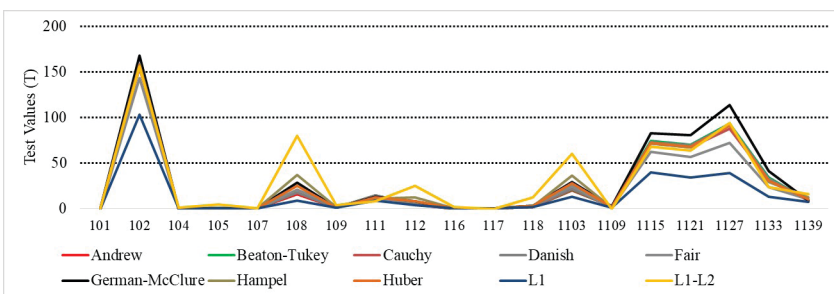


Figure 5: Calculated test values May 2016–May 2017.

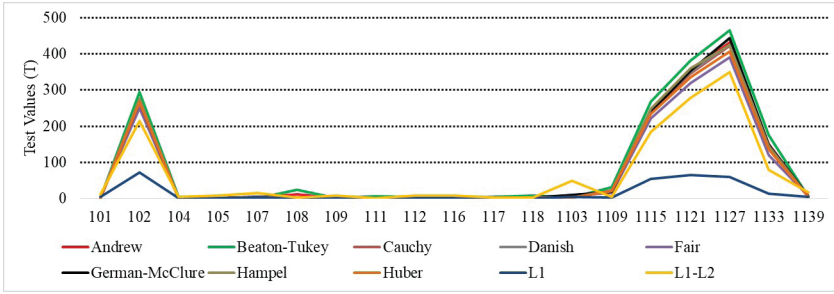


Figure 6: Calculated test values May 2016–August 2017.

Table 1: Deformation analysis with the ten robust weight functions for May 2016 – November 2016.

	PN	Andrews		Beaton-Tukey		Cauchy		Danish		Fair		German-McClure		Hampel		Huber		L1		L1-L2	
		<i>d</i>	Dec.	<i>d</i>	Dec.	<i>d</i>	Dec.	<i>d</i>	Dec.	<i>d</i>	Dec.	<i>d</i>	Dec.	<i>d</i>	Dec.	<i>d</i>	Dec.	<i>d</i>	Dec.	<i>d</i>	Dec.
Reference Points	101	0.26	✓	0.33	✓	0.25	✓	0.25	✓	0.14	×	0.16	×	0.10	×	0.35	✓	0.09	×	-0.12	×
	102	0.93	✓	0.99	✓	0.92	✓	0.91	✓	0.80	✓	0.82	✓	0.77	✓	1.02	✓	0.75	✓	0.54	✓
	104	0.18	×	0.25	×	0.17	×	0.17	×	0.06	×	0.08	×	0.03	×	0.27	✓	0.01	×	-0.20	×
	105	0.11	×	0.18	×	0.10	×	0.09	×	-0.01	×	0.01	×	-0.05	×	0.20	✓	-0.06	×	-0.27	✓
	107	-0.09	×	-0.02	×	-0.10	×	-0.10	×	-0.21	✓	-0.19	✓	-0.25	×	0.00	×	-0.26	✓	-0.47	✓
	108	-0.09	×	-0.02	×	-0.10	×	-0.10	×	-0.21	✓	-0.19	✓	-0.25	✓	0.00	×	-0.26	✓	-0.47	✓
	109	-0.05	×	0.02	×	-0.06	×	-0.06	×	-0.17	✓	-0.15	×	-0.20	✓	0.04	×	-0.22	×	-0.43	✓
	111	-0.06	×	0.01	×	-0.07	×	-0.07	×	-0.18	✓	-0.16	✓	-0.21	✓	0.03	×	-0.23	✓	-0.44	✓
	112	-0.07	×	0.00	×	-0.08	×	-0.09	×	-0.19	✓	-0.17	✓	-0.23	✓	0.02	×	-0.24	✓	-0.45	✓
	116	0.29	✓	0.35	✓	0.28	✓	0.27	✓	0.16	✓	0.18	✓	0.13	×	0.38	✓	0.11	×	-0.10	×
117	-0.10	×	-0.03	×	-0.11	×	-0.12	×	-0.22	✓	-0.20	✓	-0.26	✓	-0.01	×	-0.27	✓	-0.48	✓	
118	-0.08	×	-0.01	×	-0.08	×	-0.09	×	-0.20	✓	-0.18	✓	-0.23	✓	0.01	×	-0.25	✓	-0.46	✓	
1103	-0.06	×	0.01	×	-0.07	×	-0.08	×	-0.18	✓	-0.16	✓	-0.22	✓	0.03	×	-0.23	✓	-0.44	✓	
1109	0.79	✓	0.85	✓	0.78	✓	0.77	✓	0.66	✓	0.68	✓	0.63	✓	0.88	✓	0.61	✓	0.40	✓	
1115	2.00	✓	2.07	✓	1.99	✓	1.99	✓	1.88	✓	1.90	✓	1.85	✓	2.09	✓	1.83	✓	1.62	✓	
1121	2.24	✓	2.30	✓	2.23	✓	2.22	✓	2.11	✓	2.13	✓	2.08	✓	2.33	✓	2.06	✓	1.86	✓	
1127	1.69	✓	1.76	✓	1.68	✓	1.68	✓	1.57	✓	1.59	✓	1.54	✓	1.78	✓	1.52	✓	1.31	✓	
1133	1.08	✓	1.15	✓	1.07	✓	1.07	✓	0.96	✓	0.98	✓	0.92	✓	1.17	✓	0.91	✓	0.70	✓	
1139	-0.22	×	-0.15	×	-0.22	✓	-0.23	✓	-0.34	✓	-0.32	✓	-0.37	✓	-0.13	×	-0.39	✓	-0.60	✓	

PN = Point Number, *d* = horizontal displacements (cm), Dec. = Decision, the (✓) sign denotes "unstable", the (×) sign indicates "stable"

Table 2: Deformation analysis with the ten robust weight functions for May 2016 – May 2017.

	Andrews		Beaton-Tukey		Cauchy		Danish		Fair		German-McClure		Hampel		Huber		L1		L1-L2		
	PN	<i>d</i>	Dec.	<i>d</i>	Dec.	<i>d</i>	Dec.	<i>d</i>	Dec.	<i>d</i>	Dec.	<i>d</i>	Dec.	<i>d</i>	Dec.	<i>d</i>	Dec.	<i>d</i>	Dec.	<i>d</i>	Dec.
Reference Points	101	0.07	×	0.06	×	0.05	×	0.05	×	-0.01	×	0.04	×	-0.04	×	0.01	×	0.01	×	-0.15	×
	102	2.19	✓	2.18	✓	2.17	✓	2.17	✓	2.11	✓	2.15	✓	2.07	✓	2.13	✓	2.13	✓	1.96	✓
	104	0.02	×	0.01	×	0.00	×	0.00	×	-0.06	×	-0.02	×	-0.10	×	-0.04	×	-0.04	×	-0.21	×
	105	-0.04	×	-0.05	×	-0.06	×	-0.06	×	-0.12	×	-0.07	×	-0.15	×	-0.10	×	-0.10	×	-0.26	✓
	107	-0.09	×	-0.10	×	-0.11	×	-0.11	×	-0.17	×	-0.12	×	-0.20	×	-0.15	×	-0.15	×	-0.31	✓
	108	-0.38	✓	-0.39	×	-0.40	✓	-0.40	✓	-0.46	✓	-0.41	✓	-0.49	✓	-0.44	✓	-0.44	✓	-0.60	✓
	109	-0.17	×	-0.17	×	-0.19	×	-0.18	×	-0.25	✓	-0.20	×	-0.28	×	-0.23	×	-0.23	×	-0.39	✓
	111	0.79	✓	0.78	✓	0.77	✓	0.77	✓	0.71	✓	0.76	✓	0.68	✓	0.73	✓	0.73	✓	0.57	✓
	112	-0.27	✓	-0.27	✓	-0.28	✓	-0.28	✓	-0.34	✓	-0.30	✓	-0.38	✓	-0.33	✓	-0.33	×	-0.49	✓
	116	0.01	×	0.01	×	0.00	×	0.00	×	-0.06	×	-0.02	×	-0.10	×	-0.05	×	-0.04	×	-0.21	×
	117	0.20	×	0.20	×	0.19	×	0.19	×	0.13	×	0.17	×	0.09	×	0.15	×	0.15	×	-0.02	×
	118	-0.17	×	-0.17	×	-0.19	×	-0.18	×	-0.25	✓	-0.20	×	-0.28	×	-0.23	✓	-0.23	×	-0.39	✓
	Object Points	1103	-0.55	✓	-0.56	✓	-0.57	✓	-0.57	✓	-0.63	✓	-0.58	✓	-0.66	✓	-0.61	✓	-0.61	✓	-0.77
1109		0.22	×	0.22	×	0.21	×	0.21	×	0.15	×	0.19	×	0.11	×	0.16	×	0.16	×	0.00	×
1115		1.21	✓	1.21	✓	1.19	✓	1.20	✓	1.13	✓	1.18	✓	1.10	✓	1.15	✓	1.15	✓	0.99	✓
1121		1.07	✓	1.06	✓	1.05	✓	1.05	✓	0.99	✓	1.04	✓	0.96	✓	1.01	✓	1.01	✓	0.85	✓
1127		1.06	✓	1.06	✓	1.04	✓	1.05	✓	0.98	✓	1.03	✓	0.95	✓	1.00	✓	1.00	✓	0.84	✓
1133		0.64	✓	0.63	✓	0.62	✓	0.62	✓	0.56	✓	0.61	✓	0.52	✓	0.58	✓	0.58	✓	0.41	✓
1139	-0.67	✓	-0.67	✓	-0.68	✓	-0.68	✓	-0.74	✓	-0.70	✓	-0.78	✓	-0.73	✓	-0.73	✓	-0.89	✓	

PN = Point Number, *d* = horizontal displacements (cm), Dec. = Decision, the (✓) sign denotes "unstable", the (×) sign indicates "stable"

Table 3: Deformation analysis with the ten robust weight functions for May 2016–August 2017.

	Andrews		Beaton-Tukey		Cauchy		Danish		Fair		German-McClure		Hampel		Huber		L1		L1-L2		
	PN	<i>d</i>	Dec.	<i>d</i>	Dec.	<i>d</i>	Dec.	<i>d</i>	Dec.	<i>d</i>	Dec.	<i>d</i>	Dec.	<i>d</i>	Dec.	<i>d</i>	Dec.	<i>d</i>	Dec.	<i>d</i>	Dec.
Reference Points	101	-0.19	×	-0.06	×	-0.23	×	-0.20	×	-0.34	×	-0.29	×	-0.24	×	-0.22	×	-0.49	✓	-0.67	✓
	102	2.75	✓	2.89	✓	2.71	✓	2.74	✓	2.60	✓	2.65	✓	2.70	✓	2.72	✓	2.45	✓	2.27	✓
	104	0.15	×	0.29	✓	0.11	×	0.14	×	0.00	×	0.05	×	0.11	×	0.12	×	-0.15	×	-0.33	✓
	105	0.02	×	0.15	×	-0.02	×	0.01	×	-0.13	×	-0.09	×	-0.03	×	-0.02	×	-0.28	×	-0.46	✓
	107	-0.25	×	-0.11	×	-0.28	×	-0.26	×	-0.39	✓	-0.35	✓	-0.29	✓	-0.28	×	-0.54	✓	-0.72	✓
	108	0.29	✓	0.43	✓	0.26	×	0.28	×	0.15	×	0.19	×	0.25	×	0.26	×	0.00	×	-0.18	×
	109	-0.01	×	0.13	×	-0.05	×	-0.02	×	-0.16	×	-0.11	×	-0.06	×	-0.04	×	-0.31	×	-0.49	✓
	111	0.31	✓	0.45	✓	0.27	×	0.30	×	0.16	×	0.21	×	0.26	×	0.28	×	0.01	×	-0.17	×
	112	0.14	×	0.28	✓	0.10	×	0.13	×	-0.01	×	0.04	×	0.10	×	0.11	×	-0.16	×	-0.34	✓
	116	-0.05	×	0.09	×	-0.08	×	-0.06	×	-0.19	×	-0.15	×	-0.09	×	-0.08	×	-0.34	×	-0.52	✓
	117	0.16	×	0.29	✓	0.12	×	0.15	×	0.01	×	0.05	×	0.11	×	0.12	×	-0.14	×	-0.32	×
	118	0.26	✓	0.40	✓	0.22	×	0.25	×	0.11	×	0.16	×	0.22	×	0.23	×	-0.04	×	-0.22	×
	1103	-0.20	×	-0.06	×	-0.23	×	-0.21	×	-0.34	✓	-0.30	✓	-0.24	×	-0.23	×	-0.49	✓	-0.67	✓
1109	0.72	✓	0.86	✓	0.68	✓	0.71	✓	0.57	✓	0.62	✓	0.67	✓	0.69	✓	0.42	×	0.24	✓	
1115	2.34	✓	2.47	✓	2.30	✓	2.33	✓	2.19	✓	2.24	✓	2.29	✓	2.31	✓	2.04	✓	1.86	✓	
1121	2.46	✓	2.60	✓	2.42	✓	2.45	✓	2.31	✓	2.36	✓	2.42	✓	2.43	✓	2.16	✓	1.98	✓	
1127	2.30	✓	2.44	✓	2.26	✓	2.29	✓	2.15	✓	2.20	✓	2.25	✓	2.27	✓	2.00	✓	1.82	✓	
1133	1.24	✓	1.38	✓	1.21	✓	1.23	✓	1.09	✓	1.14	✓	1.20	✓	1.21	✓	0.94	✓	0.77	✓	
1139	-0.42	✓	-0.28	✓	-0.46	✓	-0.43	✓	-0.57	✓	-0.52	✓	-0.47	✓	-0.45	✓	-0.72	✓	-0.90	✓	

PN = Point Number, *d* = horizontal displacements (cm), Dec. = Decision, the (✓) sign denotes "unstable", the (×) sign indicates "stable"

A previous study was conducted by Konakoglu et al. (2020) using the θ^2 -Criteria method with the same GNSS data, while ten different robust weight functions were employed to detect stable/unstable points in the present study. A 3-dimensional deformation analysis was performed by Konakoglu et al. (2020). The horizontal displacement results of the θ^2 -Criteria method for the periods May 2016–November 2016, May 2016–May 2017 and May 2016–August 2017 are given in Table 4. Considering all the GNSS measurements performed in all periods, only reference point 111 was determined to be stable. Konakoglu et al. (2020) stated that the vertical displacements are larger than expected, although this is statistically significant, and this situation is unacceptable. In Table 4, the displacements indicated with an asterisk (*) are the reference and object points that are appeared to be stable in the horizontal direction (the displacement amounts are very small) even though their vertical displacements are statistically significant. Accordingly, point 112 can be considered unstable in all periods.

Table 4: Results of θ^2 -Criteria method between all periods (Konakoglu et al., 2020).

	PN	May 2016–November 2016	May 2016–May 2017	May 2016–August 2017
		<i>d</i> (cm)	<i>d</i> (cm)	<i>d</i> (cm)
Reference Points	101	0.48	0.60	0.15*
	102	1.10	2.86	3.17
	104	–	0.33	0.16*
	105	0.19*	0.68	0.15*
	107	–	0.24*	0.49
	108	0.22*	0.61	0.74
	109	0.15*	0.38	0.20
	111	–	–	–
	112	0.16*	0.15*	0.23*
	116	0.56	0.49	0.76
Object Points	117	0.02*	–	–
	118	0.04*	0.08*	0.32
	1103	–	0.63	–
	1109	0.90	1.25	1.37
	1115	2.13	1.89	2.97
	1121	2.12	1.57	2.57
	1127	1.49	1.68	2.24
	1133	1.12	1.35	1.60
1139	0.13*	0.68	0.32	

PN = Point Number

The θ^2 -Criteria method and the ten different robust methods yielded consistent results in determining the horizontal displacement. According to the results of the deformation analyses performed, all methods detected displacement at reference point 102. The horizontal displacement was up to 3.17 cm with the θ^2 -Criteria method, while none of the robust method findings exceeded 2.89 cm at this reference point. The results of the θ^2 -Criteria differed from those of the L1–L2 method compared to other robust methods. However, some differences were also found between the θ^2 -Criteria method and the ten different robust methods. For example, more points were determined to be stable in the deformation analysis made via

the robust methods compared to the θ^2 -Criteria method because the vertical displacements were not examined. Points that were found to be unstable according to the θ^2 -Criteria method were found to be stable via the robust methods. The displacements of reference points 105, 111, and 116 between May 2016 and May 2017 can be given as an example of this. The maximum displacement was found at object point 1115 (i.e., 2.97 cm) with the θ^2 -Criteria method, whereas the largest displacement was detected at object point 1121 (i.e., 2.60 cm) by the Beaton-Tukey method. The horizontal displacements for the reference points (i.e., 107, 108, and 109) and object points (i.e., 1103 and 1139) that were detected as positive (+) according to the θ^2 -Criteria method were detected as negative (-) for the same reference and object points via the robust methods.

Under normal circumstances, horizontal displacements is normally expected to be maximum in the middle of the dam crest and the displacements are expected to decrease towards the edges of the dam. The directions and amounts of the object points close to each other are expected to be the same in concrete dams. According to the direction of changes in object points 1133–1139, although the absolute displacements look the same, the directions of the points close to each other were not the same (can be seen in Table 2). In this case, it can be interpreted that the θ^2 -Criteria method provided more accurate results than the robust methods. In the deformation study performed by Setan and Singh, (2001), they revealed that the classical deformation method (congruency testing) gave better results than the robust methods (least absolute sum and iterative weighted similarity transformation). This supports the above comment.

5 CONCLUSION

The main aim of this paper was to detect the stable/unstable points on the dam crest and its surrounding area by means of ten different robust weight functions. To this aim, the GNSS measurement data on the geodetic deformation network carried out for four different periods were used. The results obtained from the comparative analysis indicated that the horizontal displacements determined by these robust weight functions are in good agreement with each other, except for the L1–L2 function. This may be because the deformation was determined using the displacement vector \hat{d}_j instead of the individual components \hat{d}_{x_j} or \hat{d}_{y_j} . The four records presented for the Deriner Dam spanning a 1.5-year period showed that almost all object points were unstable. This result indicated that there was a relationship between water load and dam deformation. According to the results of the deformation analyses conducted with different robust weight functions, the maximum displacement (which reached 2.60 cm between the periods May 2016 and August 2017) was experienced at object point 1121 at the middle of the dam crest. As can be seen from the test values of the object points, their displacements were found to be higher than for the reference points, as expected. When we examined the displacement values obtained with all the weight functions, the points with a horizontal displacement greater than or equal to 2–3 mm were considered as unstable. The displacement values below these values can be accepted as measurement noise. In the current study, the results of the deformation analysis approach using the robust weight functions were for the most part compatible with the results obtained by the θ^2 -Criteria method (Konakoglu et al., 2020). However, as a result of the evaluation, the θ^2 -Criteria method results are thought to give more accurate results than the other (robust) methods because the θ^2 -Criteria method is believed to better reflect the effect of water level change on displacement. The datum difference can be interpreted as one

of the reasons for the differences between the θ^2 -Criteria method and the robust methods. Considering all period comparisons, the Beaton-Tukey model gave the closest result to the θ^2 -Criteria method in terms of displacement amount. Although Caspary (2000) suggests that it might be the best solution for the lengths of displacement vectors for weight function variables, it may be better to evaluate deformation vectors separately (\hat{d}_{x_i} or \hat{d}_{y_i}). In addition to this, deformation research can be conducted with different constant values.

Acknowledgements

The author would like to thank the Turkish General Directorate of State Hydraulic Works (DSI) and Karadeniz Technical University for providing the data used in this study.

Literature and references:

- Acosta, L., de Lacy, M., Ramos, M., Cano, J., Herrera, A., Avilés, M., Gil, A. (2018). Displacements study of an earth fill dam based on high precision geodetic monitoring and numerical modeling. *Sensors*, 18 (5), 1369. DOI: <https://doi.org/10.3390/s18051369>
- Alcay, S., Yigit, C. O., Inal, C., Ceylan, A. (2018). Analysis of displacement response of the Ermenek dam monitored by an integrated geodetic and pendulum system. *International Journal of Civil Engineering*, 16 (10), 1279–1291. DOI: <https://doi.org/10.1007/s40999-017-0211-x>
- Amiri-Simkooei, A. R., Alaei-Tabatabaei, S. M., Zangeneh-Nejad, F., Voosoghi, B. (2017). Stability analysis of deformation-monitoring network points using simultaneous observation adjustment of two epochs. *Journal of Surveying Engineering*, 143 (1), 04016020. DOI: [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)SU.1943-5428.0000195](https://doi.org/10.1061/(ASCE)SU.1943-5428.0000195)
- Andrews, D. (1974). A Robust Method for Multiple Linear Regression. *Technometrics*, 16, 523–531.
- Barzaghi, R., Cazzaniga, N. E., De Gaetani C. I., Pinto L., Tornatore V. (2018). Estimating and comparing dam deformation using classical and GNSS techniques. *Sensors*, 18 (3), 756. DOI: <https://doi.org/10.3390/s18030756>
- Bayrak, T. (2007). Modelling the relationship between water level and vertical displacements on the Yamula Dam, Turkey. *Natural Hazards and Earth System Sciences*, 7 (2), 289–297. DOI: <https://doi.org/10.5194/nhess-7-289-2007>
- Bayrak, T. (2008). Verifying pressure of water on dams, a case study. *Sensors* 8 (9), 5376–5385. DOI: <https://doi.org/10.3390/s8095376>
- Beaton, A. E., Tukey J. W. (1974). The fitting of power series, meaning polynomials, illustrated on band-spectroscopic data. *Technometrics* 16 (2), 147–185.
- Berberan, A. (1992). Outlier detection and heterogeneous observations a simulation case study. *Australian Journal of Geodesy, Photogrammetry and Surveying*. 56, 49–61.
- Caspary, W. F., Borutta H. (1987). Robust estimation in deformation models. *Survey Review*, 29 (223), 29–45. DOI: <https://doi.org/10.1179/sre.1987.29.223.29>
- Caspary, W. F., Haen, W., Borutta, H. (1990). Deformation analysis by statistical methods. *Technometrics*, 39 (1), 49–57.
- Caspary, W. F. (2000). Concepts of network and deformation analysis, Kensington: The University of New South Wales.
- Chen, Y. G., Chrzanowski, A., Secord, J. M. (1990). A strategy for the analysis of the stability of reference points in deformation surveys. *CISM Journal*, 44 (2), 141–49. DOI: <https://doi.org/10.1139/geomat-1990-0016>
- Chen, Y. Q. (1983). Analysis of deformation surveys – a generalised method. Fredericton: University of New Brunswick, Technical Report No. 94.
- Duchnowski, R. (2013). Hodges–Lehmann estimates in deformation analyses. *Journal of Geodesy*, 87 (10–12), 873–884. DOI: <https://doi.org/10.1007/s00190-013-0651-2>
- Duchnowski, R., Wiśniewski, Z. (2017). Accuracy of the Hodges–Lehmann estimates computed by applying Monte Carlo simulations. *Acta Geodaetica et Geophysica*, 52 (4), 511–525. DOI: <https://doi.org/10.1007/s40328-016-0186-0>
- Duchnowski, R., Wiśniewski, Z. (2012). Estimation of the shift between parameters of functional models of geodetic observations by applying M split estimation. *Journal of Surveying Engineering*, 138 (1), 1–8. DOI: [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)SU.1943-5428.0000062](https://doi.org/10.1061/(ASCE)SU.1943-5428.0000062)
- Erenoglu, R. C., Hekimoglu, S. (2007). An investigation into robust estimation applied to correlated GPS networks. In: M.G. Sideris (Ed.) *Observing our changing earth* (pp. 639–644). Berlin: Springer. DOI: https://doi.org/10.1007/978-3-540-85426-5_74
- Erol, S., Erol, B., Ayan, T. (2004). A general review of the deformation monitoring techniques and a case study: analysing deformations using GPS/levelling. In 20th ISPRS Congress, 12–23 July, 2004, Istanbul.
- Gikas, V., Sakellariou, M. (2008). Settlement analysis of the Mornos earth dam (Greece): Evidence from numerical modeling and geodetic monitoring. *Engineering Structures*, 30 (11), 3074–3081. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.engstruct.2008.03.019>
- Guler, G., Kiliç, H., Hosbas, G., Ozaydin, K. (2006). Evaluation of the movements of the dam embankments by means of geodetic and geotechnical methods. *Journal of Surveying Engineering*, 132 (1), 31–39. DOI: [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)0733-9453\(2006\)132:1\(31\)](https://doi.org/10.1061/(ASCE)0733-9453(2006)132:1(31))
- Hampel, F. R., Ronchetti, E. M., Rousseeuw, P. J., Stahel W.A. (1986). *Robust statistics: The approach based on influence functions*. New York: Wiley.
- Huber, P. J. (1964). Robust estimation of a location parameter. *The Annals of Mathematical Statistics*, 35 (1), 73–101.

- Huber, P. J. (1981). *Robust statistics*. New York: Wiley.
- Kalkan, Y. (2014). Geodetic deformation monitoring of Atatürk Dam in Turkey. *Arabian Journal of Geosciences*, 7 (1), 397–405. DOI: <https://doi.org/10.1007/s12517-012-0765-5>
- Konakoglu, B., Cakir, L., Yilmaz, V. (2020). Monitoring the deformation of a concrete dam: a case study on the Deriner Dam, Artvin, Turkey. *Geomatics, Natural Hazards and Risk*, 11 (1), 160–177. <https://doi.org/10.1080/19475705.2020.1714755>
- Manake, A., Kulkarni, M. N. (2002). Study of the deformation of Koyna dam using the Global Positioning System. *Survey Review*, 36 (285), 497–507. DOI: <https://doi.org/10.1179/sre.2002.36.285.497>
- Niemeier, W. (1981). Statistical tests for detecting movements in repeatedly measured geodetic networks. *Developments in Geotectonics*, 16, 335–351. DOI: [https://doi.org/10.1016/0040-1951\(81\)90076-7](https://doi.org/10.1016/0040-1951(81)90076-7)
- Nowel, K. (2015a). Investigating the efficacy of robust M estimation of deformation from observation differences. *Survey Review*, 48 (346), 21–30. DOI: <https://doi.org/10.1080/00396265.2015.1097585>
- Nowel, K. (2015b). Robust M-estimation in analysis of control network deformations: Classical and new method. *Journal of Surveying Engineering*, 141 (4), 1–10. DOI: [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)SU.1943-5428.0000144](https://doi.org/10.1061/(ASCE)SU.1943-5428.0000144)
- Nowel, K., Kamiński, W. (2014). Robust estimation of deformation from observation differences for free control networks. *Journal of Geodesy*, 88 (8), 749–764. DOI: <https://doi.org/10.1007/s00190-014-0719-7>
- Pelzer, H. (1971). *Zur analyse geodätischer deformationsmessungen*. Munich: Deutsche Geodätische Kommission.
- Pelzer, H. (1974). Neuere ergebnisse bei der statistischen analyse von deformationsmessungen. In *14 FIG International Congress*, Washington, DC.
- Pennacchi, P. (2008). Robust estimate of excitations in mechanical systems using M-estimators—theoretical background and numerical applications. *Journal of Sound and Vibration*, 310 (4–5), 923–946. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jsv.2007.08.007>
- Saidi, S., Houimli, H., Zid, J. (2017). Geodetic and GIS tools for dam safety: case of Sidi Salem dam (northern Tunisia). *Arabian Journal of Geosciences*, 10 (22), 505. DOI: <https://doi.org/10.1007/s12517-017-3259-7>
- Savšek-Safić, S., Ambrožič, T., Stopar, B., Turk, G. (2006). Determination of point displacements in the geodetic network. *Journal of Surveying Engineering*, 132 (2), 58–63. DOI: [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)0733-9453\(2006\)132:2\(58\)](https://doi.org/10.1061/(ASCE)0733-9453(2006)132:2(58))
- Scaioni, M., Marsella, M., Crosetto, M., Tornatore, V., Wang, J. (2018). Geodetic and remote-sensing sensors for dam deformation monitoring. *Sensors*, 18 (11), 3682. DOI: <https://doi.org/10.3390/s18113682>
- Setan, H., Som, Z. A. M., Idris, K. M. (2003). Deformation detection of lightweight concrete block using geodetic and non-geodetic methods. In *11th FIG Symposium on Deformation Measurements*, May 25–28, 2003, Greece.
- Setan, H., Singh, R. (2001). Deformation analysis of a geodetic monitoring network. *Geomatica*, 55 (3), 333–346. DOI: <https://doi.org/10.5623/geomat-2001-0039>
- Taşçi, L. (2008). Dam deformation measurements with GPS. *Geodesy and Cartography* 34 (4), 116–121. DOI: <https://doi.org/10.3846/1392-1541.2008.34.116-121>
- Taşçi, L. (2010). Analysis of dam deformation measurements with the robust and non-robust methods. *Scientific Research and Essays*, 5 (14), 1770–1779.
- Wiśniewski, Z. (2009). Estimation of parameters in a split functional model of geodetic observations (M split estimation). *Journal of Geodesy*, 83 (2), 105–120. DOI: <https://doi.org/10.1007/s00190-008-0241-x>
- Wiśniewski, Z. (2010). M split (q) estimation: estimation of parameters in a multi split functional model of geodetic observations. *Journal of Geodesy*, 84 (6), 355–372. DOI: <https://doi.org/10.1007/s00190-010-0373-7>
- Xiao, R., Shi, H., He, X., Li, Z., Jia, D., Yang, Z. (2019). Deformation monitoring of reservoir dams using GNSS: an application to south-to-north water diversion project, China. *IEEE Access*, 7, 54981–54992. DOI: <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2019.2912143>
- Yavaşoğlu, H. H., Kalkan, Y., Tiryakioğlu, İ., Yigit, C. O., Özbey, V., Alkan, M. N., Bilgi, S., Alkan, R. M. (2018). Monitoring the deformation and strain analysis on the Atatürk Dam, Turkey. *Geomatics Natural Hazards and Risk*, 9 (1):94–107. DOI: <https://doi.org/10.1080/19475705.2017.1411400>
- Yigit, C. O. (2016). Experimental assessment of post-processed kinematic precise point positioning method for structural health monitoring. *Geomatics Natural Hazards and Risk*, 7 (1), 360–383. DOI: <https://doi.org/10.1080/19475705.2014.917724>
- Yigit, C. O., Alcay, S., Ceylan, A. (2016). Displacement response of a concrete arch dam to seasonal temperature fluctuations and reservoir level rise during the first filling period: evidence from geodetic data. *Geomatics Natural Hazards and Risk*, 7 (4), 1489–1505. DOI: <https://doi.org/10.1080/19475705.2015.1047902>



Konakoğlu B. (2020). Analysis of dam deformation with robust weight functions. *Geodetski vestnik*, 64 (2), 196–213. DOI: <https://doi.org/10.15292/geodetski-vestnik.2020.02.196-213>

Assist. prof. dr. Berkant Konakoglu
Amasya University, Technical Sciences Vocational School
TR-05100 Amasya, Turkey
e-mail: berkantkonakoglu@amasya.edu.tr

OPTIMALNA KONFORMNA PROJEKCIJA ZA VSEEVROPSKO KARTIRANJE

THE OPTIMAL CONFORMAL PROJECTION FOR PAN- EUROPEAN MAPPING

Ivan Nestorov, Milan Kilibarda, Dragutin Protić

UDK: 528.235:528.721:528.9(4)
Klasifikacija prispevka po COBISS.SI: 1.01
Prispelo: 11. 4. 2018
Sprejeto: 10. 4. 2020

DOI: 10.15292/geodetski-vestnik.2020.02.214-226
SCIENTIFIC ARTICLE
Received: 11. 4. 2018
Accepted: 10. 4. 2020

IZVLEČEK

V Evropi je predvsem v povezavi s podporo različnim politikam opazna vse večja potreba po vseevropskih prostorskih podatkovnih nizih. Za vizualizacijo teh podatkov bi bilo treba sprejeti ustrezne kartografske projekcije. Na delavnici na temo kartografskih projekcij združenja EuroGeographic leta 2001 so bila oblikovana priporočila Evropski komisiji, in sicer da se v namene kartiranja Evrope v merilih, manjših ali enakih 1 : 500.000, uporabi Lambertova konformna stožčna projekcija. V članku razpravljamo, ali je predlagana kartografska projekcija optimalna rešitev z vidika linearnih deformacij na območju kartiranja. Kot alternativna rešitev je predlagana optimizirana prilagojena konformna projekcija rotacijskega elipsoida CAMPREL (angl. Conformal Adaptive Mapping Projection of Rotation Ellipsoid). Izračunali smo vrednosti cenilk za oceno kakovosti predlagane projekcije in jih primerjali z vrednostmi za Lambertovo konformno stožčno projekcijo. Dodatno je izračunana največja mogoča absolutna linearna popačenost pri konformnem kartiranju Evrope. Izkazalo se je, da predlagana projekcija CAMPREL bolje ustreza izbranim kriterijem glede primernosti za vseevropsko kartiranje.

KLJUČNE BESEDE

kartografska projekcija, CAMPREL, Chebyshev-Grave teorem, Meshcheryakov teorem, Laplaceove parcialne diferencialne enačbe, vseevropsko kartiranje, linearno popačenje

ABSTRACT

There is an increasing need for pan-European spatial datasets, mainly to support the common European Union policies. This has inevitably raised demands for adopting pan-European cartographic projections to visualize the spatial data. The Map Projection Workshop organized by EuroGeographics in 2001 provided a recommendation to the European Commission to adopt the Lambert conformal conic projection for conformal pan-European mapping at the scales smaller or equal to 1:500,000. This paper discusses if the projection is an optimal solution in terms of linear deformations over the mapping region. An optimized CAMPREL (conformal adaptive mapping projection of rotation ellipsoid) projection for the area of interest is proposed as an alternative solution. The projection quality criteria were calculated and compared with those of the Lambert conformal conic projection. The maximal possible absolute linear distortion for conformal mapping of the pan-European area is also given. It has been shown that the CAMPREL projection designed for pan-European mapping better meets the projection selection criteria.

KEY WORDS

cartographic projection, CAMPREL, Chebyshev-Grave's theorem, Meshcheryakov's theorem, Laplace's partial differential equations, pan-European mapping, maximum absolute linear distortion

1 INTRODUCTION

There are increasing demands for seamless pan-European spatial datasets (e.g. GMES land monitoring data, LUCAS, LPIS.), mainly aimed to support definition and monitoring of the European Union policies, e.g. Common Agriculture Policy, Environment (Annoni et al., 2001; Annoni and Smits, 2003). To cartographically represent and store such spatial data, there is a need for a common spatial reference system for Europe. According to ISO19111:2019 (ISO, 2019), a spatial reference system consists of a datum and a coordinate system that includes the definition of a map projection.

The European Commission Interservices Committee for Geographic Information-COGI adopted ETRS89 with the underlying GRS80 ellipsoid, like the geodetic datum (Annoni et al., 2000). The Map Projection Workshop, organized in 2001 by EuroGeographics following a request from the JRC (Joint Research Centre) of the European Commission, resulted in the recommendation to the European Commission to adopt the Lambert conformal conic projection with two standard parallels (namely, 35°N and 65°N) for conformal pan-European mapping at the scales smaller or equal to 1:500.000 (Annoni et al., 2003). It is not, however, clear the exact reason for such a choice. There is, however, an implicit indication within the final document of the workshop stating that *an area with a large West-East extent is better represented in a normal conical projection (i.e. Lambert conformal conic - ETRS-LCC).*

The general rule of selecting a projection for conformal mapping is to achieve the least possible exaggeration of the area within the region to be mapped. This paper aims to show that this requirement was not fulfilled by selecting the Lambert conformal conic projection for the pan-European area. To support this claim, the CAMPREL (conformal adaptive mapping projection of rotation ellipsoid) projection (Nestorov, 1996) has been derived for the area of interest, and values of the projection quality criteria were calculated and compared with those of the Lambert conformal conic projection.

The CAMPREL projection (Nestorov, 1996 and 1997), tries to define the "best projection"¹ for a subject area following Meshcheryakov (1968) criteria. It satisfies both Chebyshev's minimax criteria (Chebyshev, 1856) and variational criteria based on numerical distortion measures. Such projection is not just a great candidate for the conformal projection of the area. Still, it can also answer what the smallest possible maximal linear distortion with which the area of interest can be conformally mapped is.

The next section presents the general idea of the CAMPREL projection, with theoretical background, derivation of equations for direct mapping, and numerical distortion criteria measures used to select the most optimal projection. In the following sections, a computer program and methodology finding the CAMPREL projection of the pan-European area is presented, and a comparison of the CAMPREL and

¹ *There are several ideas of "best map projection", among all possible projections, or among a certain class of projections. Some of them are:*

- 1. Kavravsky's idea of best map projection:** *Map projection founded under unique conditions that maximal linear distortions on the whole area of mapping are minimal. (Kavravskiy, 1958)*
- 2. Milnor's idea of best map projection:** *Map projection where ratio between logarithms of maximal and minimal linear scales is minimal. Milnor's theorem proofs the existence of such projection for the mapping sphere on to the plane. (Milnor, 1969).*
- 3. Chebyshev's idea of best map projection:** *Map projections having a minimal ratio between maximal and minimal linear scale on the whole area of mapping (Chebyshev, 1856). The last definition provides so-called minimax criteria and projection satisfying this criterion is called Chebyshev's projection or "the best projection in minimax sense" (Nestorov, 1996). The Chebyshev's - Grave's theorem, also known as the theorem of conformal mapping, proofs the existence of such projection.*
- 4. Meshcheryakov's idea of best map projection:** *Map projection satisfying both minimax and variational criteria. (Meshcheryakov, 1968). Map projection satisfying variational criteria is the one having minimal some of the numerical criteria measures like total distortion, range of the absolute distortion, relative linear scale and the like.*

ETRS-LCC projections is made based on numerical distortion measures. The concluding remarks and observation are given the final section.

2 THE IDEA OF CAMPREL PROJECTION

2.1 Theoretical background

The idea of the CAMPREL projection has been presented by Nestorov (1996) in the Serbian language. Nestorov (1997) summarized the idea in English. However, the full explanation of the projection formulas has never been completely presented in the English language to the community. Therefore, this section presents the basics of the CAMPREL projection idea, following both references mentions above.

The concept of the CAMPREL projection is defined using the "reverse cartographic assignment method" (Urmayev, 1947; Meshcheryakov, 1968), which assumes that a new map projection can be developed if the conditions of the projection characteristics are known. Meshcheryakov's theorem (Meshcheryakov, 1968) says that if one knows exactly four conditions of projection characteristics², then the unique equations for direct and inverse mapping with positive Jacobian at the whole area of mapping exist. The projection equations and conditions can be defined analytically or by their numerical values (non-analytically) at any locations of the mapping region using numerical methods with the desired accuracy.

A conformal map projection can be obtained by integrating Laplace's differential equation that describes a condition for conformal mapping of a rotational ellipsoid onto a plane:

$$\frac{\partial^2 (\ln v)}{\partial q^2} + \frac{\partial^2 (\ln v)}{\partial l^2} = 0 \tag{1}$$

where:

$$v = m \cdot \frac{\cos(\varphi)}{\sqrt{1 - e_p^2 \cdot \sin^2(\varphi)}}; \tag{2}$$

and:

$$q = \ln \left[\operatorname{tg} \left(\frac{\pi}{4} + \frac{\varphi}{2} \right) \cdot \left(\frac{1 - e_p \cdot \sin(\varphi)}{1 + e_p \cdot \sin(\varphi)} \right)^{\frac{1}{2}e} \right] \text{ and } l = \lambda - \lambda_0. \tag{3}$$

q and l - isometric latitude and isometric longitude,

φ and λ - geographic latitude and longitude,

λ_0 - geographic longitude of the central meridian of the area,

m - linear scale distortion along the meridian,

e_p - eccentricity of meridian ellipsis.

² Characteristics of a projection are characterizing distortions created during the mapping. These functions can be linear scale in an arbitrary direction, extreme linear scales, principal directions, linear scales in the direction of the meridians and parallels, azimuths of the images of meridians and parallels, angle between the images of the meridians and parallels, the area scale, the distortion of azimuth, maximal angular distortion, etc.

The CAMPREL projection also utilizes Chebyshev-Grave's theorem³ (Chebyshev, 1856; Grave, 1911; Urmayev, 1947) stating that the best conformal map projection for a region is the one with the constant logarithm of linear scale along the region's boundary. Therefore, the following condition applies:

$$\ln(v)|_{\Gamma} = \ln \left[K \cdot \frac{\cos(\varphi)}{\sqrt{1 - e_p^2 \cdot \sin^2(\varphi)}} \right] \tag{4}$$

where:

Γ - the boundary of the mapping area;

K - the value of the constant linear scale assigned along the mapping boundary.

Since for conformal mapping is valid, that the linear scale c in any direction is constant and therefore $m = c$, the function of the linear scale in an arbitrary direction can be obtained by solving the Laplace's differential equation (1) under the boundary condition (4). The solutions of Laplace's differential equation, by definition, are harmonic functions, like a harmonic polynomial u_k of degree k in equation (5), where P_k and Q_k are the real and imaginary parts of harmonic polynomial u_k .

$$u_k = (q + i \cdot l)^k = P_k + i \cdot Q_k; \quad i^2 = -1 \tag{5}$$

One can obtain an expression for any degree of harmonic polynomials P_k and Q_k using Morozov's recurrent formulas (6) with given null terms $P_0 = 1$ and $Q_0 = 0$. Their equality can be proved by mathematical induction. (Mitrinović, 1989)

$$P_{j+1} = q \cdot P_j - l \cdot Q_j \quad P_0 = 1; \quad P_{j+1} = q \cdot P_j - l \cdot Q_j \tag{6}$$

$$Q_{j+1} = q \cdot Q_j + l \cdot P_j \quad Q_0 = 0; \quad Q_{j+1} = q \cdot Q_j + l \cdot P_j$$

The real P_k and imaginary Q_k parts are the solution of the of Laplace's differential equation (1) as well as their arbitrary linear combination presented in equation (7), where a_j and b_j are unknown Chebyshev's coefficients (Urmayev, 1947).

$$u_k = \sum_{j=0}^k a_j \cdot P_j + b_j \cdot Q_j \tag{7}$$

Equation (7) can further be simplified if the boundary of the mapping area (Γ) and isocoles are symmetrical in relation to the central meridian. These symmetries exclude imaginary part Q_j of the polynomial and the solution takes a form of a symmetrical harmonic polynomial presented in equation (8).

$$u_k = \sum_{j=0}^k a_j \cdot P_j \tag{8}$$

Using the boundary condition (4) and the symmetrical harmonic polynomial above, one can express the more general solution of the Laplace's differential equation for the complete mapping area as:

³ *Chebyshev-Grave's theorem reads precisely:* In the class of all conformal map projections minimal ratio between maximal and minimal linear scale on the whole area of mapping, will be on the map projection having constant logarithm of linear scale along the contour of the mapping area.

$$\ln(c) = \sum_{j=0}^k a_j \cdot P_j - \ln \left[\frac{\cos(\phi)}{\sqrt{1 - e_p^2 \cdot \sin^2(\phi)}} \right] \tag{9}$$

As explained by Nestorov (1997), equation (9) can be formulated for $n \geq k + 1$ discrete points on the boundary of the mapping area as a system of equations presented with (10).

$$\ln(K) = \sum_{j=0}^k a_j \cdot P_j - \ln \left[\frac{\cos(\phi_i)}{\sqrt{1 - e_p^2 \cdot \sin^2(\phi_i)}} \right], \quad i = 1, 2, 3, \dots, n \tag{10}$$

With the constant linear scale, K assigned to the boundary of the mapping area, and with enough discrete points on the boundary, one can determine values of polynomial coefficients a_j using the least square method.

Knowing the coefficients of the symmetrical harmonic polynomial makes it possible to calculate the values of the linear scale c for all the points of the mapping region using equation (11), and meridian convergence γ with equation (12) according to Nestorov (1996). In equation (11), e is the base of the natural logarithm.

$$c = e^{\sum_{j=0}^k a_j \cdot P_j - \ln \left[\frac{\cos(\phi)}{\sqrt{1 - e_p^2 \cdot \sin^2(\phi)}} \right]} \tag{11}$$

$$\gamma = \sum_{j=0}^k -a_j Q_j \tag{12}$$

As already mentioned above, the four independent mapping characteristics in every point are needed for the complete map projection definition (Meshcheryakov, 1968). For the conformal mapping, it is enough to know two independent mapping characteristics, since the linear scale along the meridian m and the linear scale along the parallel n are both equal to the linear scale c , i.e. $m = n = c$ and also the angle between a meridian and a parallel always remains right ($\Theta = \pi/2$). Therefore, two mapping characteristics c and γ , defined with equations (11) and (12), satisfy the Meshcheryakov's theorem, and one can determine unique equations of the direct and inverse mapping and also functions of all other mapping characteristics.

2.2 Equations for direct mapping

When deriving equations of direct mapping based on isometric latitude (q) and longitude (l), $x = x(q, l)$, $y = y(q, l)$ the following two facts were taken into account:

1. The rectangular coordinates in the plane, x and y , are conjugated harmonic functions of isometric coordinates, and one can use an analytic function that determines the conformal mapping in the form of a harmonic polynomial:

$$\begin{aligned} y &= \sum_{j=1}^n A_j \cdot P_j + B_j \cdot Q_j \\ x &= \sum_{j=1}^n A_j \cdot P_j - B_j \cdot Q_j \end{aligned} \tag{13}$$

where A_i and B_i are real coefficients, and P_i and Q_i are real and imaginary parts of this harmonic polynomial.

2. For conformal mapping, it is known (Bugayevskiy, 1974; Pedzich, 2005; Tutić, 2009) to be valid:

$$\begin{aligned} x_q &= v \cdot \cos(\gamma), & x_l &= -v \cdot \sin(\gamma) \\ y_q &= v \cdot \sin(\gamma), & y_l &= v \cdot \cos(\gamma) \end{aligned} \tag{14}$$

where x_q, x_l, y_q, y_l are partial derivatives of the mapping function, γ is the meridian convergence and the function v is previously given by expression (2).

The polynomial real coefficients, A_i and B_i , can be determine using partial derivatives of the expression (13) by isometric latitude q .

$$\begin{aligned} y_q &= \sum_{j=1}^n A_j \cdot (P_j)_q + B_j \cdot (Q_j)_q \\ x_q &= \sum_{j=1}^n A_j \cdot (P_j)_q - B_j \cdot (Q_j)_q \end{aligned} \tag{15}$$

The partial derivative of a harmonic polynomial u_k , by isometric latitude q is:

$$(P_n + i \cdot Q_n)_q = n \cdot (q + i \cdot l)^{n-1} = n \cdot (P_{n-1} + i \cdot Q_{n-1}). \tag{16}$$

Therefore, the real and imaginary parts can be written as:

$$\begin{aligned} (P_n)_q &= n \cdot P_{n-1} \\ (Q_n)_q &= n \cdot Q_{n-1} \end{aligned} \tag{17}$$

Hence, the expressions (15) becomes:

$$\begin{aligned} y_q &= \sum_{j=1}^n j \cdot (A_j \cdot P_{j-1} + B_j \cdot Q_{j-1}) \\ x_q &= \sum_{j=1}^n j \cdot (A_j \cdot P_{j-1} - B_j \cdot Q_{j-1}) \end{aligned} \tag{18}$$

On the other hand, the relations in equations (14) are valid at each point of the mapping area. The meridian convergence (γ) and the function v in these equations can be replaced using expressions (2), (11), and (12), and the numeric values of x_q and y_q can be calculated as follows:

$$\begin{aligned} y_q &= e^{\sum_{i=0}^k a_i \cdot P_i} \cdot \sin\left(\sum_{i=0}^k -a_i \cdot Q_i\right) = T_y \\ x_q &= e^{\sum_{i=0}^k a_i \cdot P_i} \cdot \cos\left(\sum_{i=0}^k -a_i \cdot Q_i\right) = T_x \end{aligned} \tag{19}$$

With known numeric values of partial derivatives y_q and x_q as T_y , and T_x , one can write for each point of the mapping area a system of two linear equations, where the coefficients A_j and B_j ($i = 1, 2, 3, \dots, n$) are $2n$ unknown variables:

$$\sum_{j=1}^n j \cdot (A_j \cdot P_{j-1} + B_j \cdot Q_{j-1}) = T_y$$

$$\sum_{j=1}^n j \cdot (A_j \cdot P_{j-1} - B_j \cdot Q_{j-1}) = T_x$$
(20)

To define the unknown coefficients A_j and B_j ($j = 1, 2, 3, \dots, n$), it is necessary to use at least n different points over the mapping area and solve the system of $2n$ linear equations with $2n$ unknowns. One can take a larger number of points than necessary and use the least-squares method to optimize the accuracy of the results obtained. Once the polynomial coefficients A_j and B_j are determined, the rectangular coordinates x and y can be calculated from the expression (13) for the whole mapping area.

For the calculation of geographic coordinates φ and λ based on known y and x coordinates, also known as inverse mapping, authors suggesting established numerical methods since the equations for the direct mapping are derived numerically.

2.3 Numerical distortion criteria for projection optimization

Since the idea of the CAMPREL is to find a projection satisfying both Chebyshev's (presented in the first subsection above) and variational criteria, this subsection presents numerical measures (distortion parameters) for projection optimization used to satisfy the lateral criterion. The "best projection" in a variational sense would, therefore, have minimal values of all these parameters.

All presented measures are based on linear distortion⁴. Besides maximal and minimal linear scales, c_max and c_min , the following measures were also utilized:

1. Jordan's total distortion criteria (Kavrayskiy, 1958):

$$E_j^2 = \frac{1}{2 \cdot \pi \cdot P} \int_P \int_0^{2\pi} (c - 1)^2 \cdot d\alpha \cdot dP$$
(21)

For the case of the finite number of points, the simplified form can be used (Nestorov, 1996):

$$E_j = \sqrt{\sum_{i=1}^n (c_i - 1)^2}$$
(22)

2. Jordan-Kavrayskiy's total distortion criteria (Kavrayskiy, 1958):

$$E_{JK}^2 = \frac{1}{2 \cdot \pi \cdot P} \int_P \int_0^{2\pi} (\ln c)^2 \cdot d\alpha \cdot dP$$
(23)

And in the simplified form of the above formula for the finite number of points (Nestorov, 1996):

$$E_{JK} = \sqrt{\sum_{i=1}^n (\ln c_i)^2}$$
(24)

⁴ When defining the projection quality criteria, it should be borne in mind that map projections generally cause inevitable distortions of the lengths, angles, and areas of the original surface, but also that mapping is possible in which eliminated either angular distortions (conformal projections) or distortions of area (equivalent projections). However, linear distortions are always present. Therefore, the overall measure of projection quality must contain linear distortions, namely linear distortions throughout the mapping area. In other words, the basic factor in defining the selection criteria and the quality of the projection should be the distribution of linear distortion over the entire mapping area.

3. Range of linear distortions:

$$RLD = c_{max} - c_{min} \tag{25}$$

4. Relative linear scale:

$$RLS = \frac{c_{max} - c_{min}}{c_{max}} \tag{26}$$

5. The ratio of maximal and minimal linear scales:

$$RMMS = \frac{c_{max}}{c_{min}} \tag{27}$$

6. Ratio of logarithms of maximal and minimal linear scales:

$$RLMMS = \frac{\ln(c_{max})}{\ln(c_{min})} \tag{28}$$

7. Range of absolute linear distortions:

$$RALD = d_{absmax} - d_{absmin} \tag{29}$$

8. Average absolute linear distortion:

$$AALD = \frac{\sum_{i=1}^n abs(d_i)}{n} \tag{30}$$

9. Root mean square of linear distortions:

$$RMSALD = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n d_i^2}{n}} \tag{31}$$

where c , α , P , dP , d_{max} , d_{min} , d_{absmax} , and d_{absmin} are respectively: linear scale, azimuth, the area of mapping, a differential element of the area, maximal linear distortion, minimal linear distortion, the absolute value of maximal linear distortion and the absolute value of minimal linear distortion.

3 CAMPREL PROJECTION FOR THE AREA OF PAN-EUROPEAN MAPPING

3.1 Methodology for finding the CAMPREL projection

To find the CAMPREL projection for pan-European mapping area - the area bounded by parallels of 27°N and 71°N and meridians of 30°W and 45°E, (Annoni et al., 2001) - the task is to determine the degree (k) of the harmonic polynomial (u_k) and the constant value of the linear distortion along the area border (K) for which all numerical criteria presented in section 2.3 would be minimized. A computer program that generates and tests Chebyshev's projection variants were developed for this task.

Based on the boundary parallels and meridians, the program varies the degree of the harmonic polynomial (k), the constant value of the linear distortion along the area border (K), and the number of points on the contour of the region (n), all from expression (10), to create projection variants. It increases the degree of

the harmonic polynomial (k) until the difference of the calculated total distortion (based on formulas (22) and (24)) for the two successive degrees of the harmonic polynomials is less than 3×10^{-4} . For the initial value of the constant linear scale along the boundary meridians and parallels (K), a value of 1.00700 was taken and varied to 1.00710 in steps of 0.00002. This range is based on the estimation that the maximum positive linear distortion is expected to be approximately equal to the maximum negative linear distortion. The number of boundary points (n) varied from 36 to 60 until their number ceased to affect the accuracy of calculation of linear scales along the boundary meridians and parallels. The points along the border were evenly distributed. In total, the program generates 210 Chebyshev's projection variants.

For every variant, the program then calculates numerical criteria measures to test the projection quality (distortion parameters): Jordan's total distortion (E_j), Jordan-Kavraysky's total distortion (E_{JK}), maximal linear scale (c_{max}), minimal linear scale (c_{min}), range of linear distortions (RLD), relative linear scale (RLS), the ratio of maximal and minimal linear scales ($RMMS$), the ratio of logarithms of maximal and minimal linear scales ($RLMMS$), maximal linear distortion (d_{max}), minimal linear distortion (d_{min}), maximal absolute linear distortion (d_{absmax}), minimal absolute linear distortion (d_{absmin}), range of absolute linear distortions ($RALD$), average absolute linear distortion ($AALD$), and root mean square of absolute linear distortion ($RMSALD$). Each numerical measure is based on 3420 evenly distributed grid points (cross-sections of meridians and parallels for every degree of latitude and longitude) over the area of interest.

All variant cases are tested in less than one minute of CPU time.

3.2 The optimal CAMPREL projection and its comparison to ETRS-LCC projection

From the 210 projection variants, Table 1 gives Chebyshev's coefficients, $a_0 - a_{10}$, for the optimal CAMPREL projection designed for the pan-European mapping area. The total distortions of the projection have minimum values, and the absolute maximum positive linear distortion is approximately equal to the absolute maximum negative linear distortion value. The optimal variant has the degree of the harmonic polynomial 10, the constant linear scale along the border is 1.00706, and 60 evenly distributed points on the boundary of the mapping area are used to define the coefficients. The precision of values presented in Table 1 is limited to the accuracy of the numerical methods used to generate the variant. Authors believe that the precision here is more than sufficient for the purpose of mapping in the scales smaller or equal to 1:500,000.

Table 1: Chebyshev's coefficients of the optimal CAMPREL projection for Pan-European area.

j	a_j
0	-0.567667536
1	-0.783326923
2	-0.083929018
3	0.011493356
4	0.055463877
5	-0.019925516
6	0.003009703
7	0.003545522
8	-0.006029762
9	0.000535393
10	-0.003798708

The numerical quality criteria measures (distortion parameters) for ETRS-LCC projection and the optimal CAMPREL projection were calculated from a grid of points for each degree of latitude and longitude within the pan-European mapping area. In total, 3420 points were used. The results are presented in Table 2.

All distortion parameters are convincingly better for the CAMPREL projection compared to the ETRS-LCC. The Jordan's and Jordan-Kavrayskiy's distortion ratios of the two projections show that the CAMPREL projection is almost twice as good (the ratio is over 180%). Similarly, both mean values of linear distortion, average (AALD) and mean square (RMSALD), show the same outperformance. It should also be noted that the linear distortion range is about 39.17% better with the CAMPREL projection compared to the ETRS-LCC, as well as the absolute linear distortion range, which is improved for 55.70%. The linear distortion of the ETRS-LCC ranges from -0.034374 to 0.043704, while at CAMPREL projections symmetrically ranges from -0.028069 to 0.028069. With the CAMPREL projection, the maximum absolute linear distortion of conformally mapped pan-European area, therefore, drops to 0.028069.

Table 2: Numerical quality criteria measures (distortion parameters) for the ETRS-LCC and CAMPREL projections.

CRITERIA/PROJECTION	ETRS-LCC	CAMPREL	ETRS-LCC/CAMPREL
Number of points:	3420	3420	-
Jordan's total distortion - EJ	1.481778	0.821865	180.29%
Jordan-Kavrayskiy's total distortion - EJK	1.488330	0.826696	180.03%
Maximal linear scale - c_max	1.043704	1.028034	101.52%
Minimal linear scale - c_min	0.965626	0.971931	99.35%
Range of linear distortions - RLD	0.078078	0.056103	139.17%
Relative linear scale - RLS	7.48%	5.46%	137.08%
Ratio of maximal and minimal linear scales - RMMS	1.080857	1.057723	102.19%
Ratio of logarithms of maximal and minimal linear scales - RLMMS	-1.222914	-0.971120	125.93%
Maximal linear distortion - d_max	0.043704	0.028034	155.90%
Minimal linear distortion - d_min	-0.034374	-0.028069	122.46%
Maximal absolute linear distortion - d_absmax	0.043704	0.028069	155.70%
Minimal absolute linear distortion - d_absmin	0.000000	0.000000	-
Range of absolute linear distortions - RALD	0.043704	0.028069	155.70%
Average absolute linear distortion - AALD	0.022567	0.011804	191.19%
Root mean square of absolute linear distortion - RMSALD	0.025338	0.014054	180.29%

Figure 1 and 2 shows linear scale isocole maps and absolute linear distortion isocole maps for the ETRS-LCC and CAMPREL projections. These maps were generated from the values of linear scales, and absolute linear distortions in the grid of 3420 points used to calculate numerical criteria measures in Table 2.

When comparing projections in each figure, it is evident that the values of distortions are overall smaller in the CAMPREL projection compare to the ETRS-LCC, as it was indicated in Table 2. From the maps, one can also notice different distortion pattern of the CAMREL projection compares to the established ETRS-LCC. In the ETRS-LCC, the linear distortion changes only in one direction, south-to-north,

and with fast decrease when approaching the standard parallels. In the CAMREL projection, the linear distortion changes radially and relatively evenly, in all directions, following the form of the border of the mapping area. This pattern is part of a very important feature of the CAMREL projection that should be emphasized: the CAMREL is an adaptive projection (Nestorov 1996 and 1997). What this means is that the distortion and its isocoles adapt and follow the boundary of the mapping region, which results in linear distortions optimally distributed and stretched within the subject area.

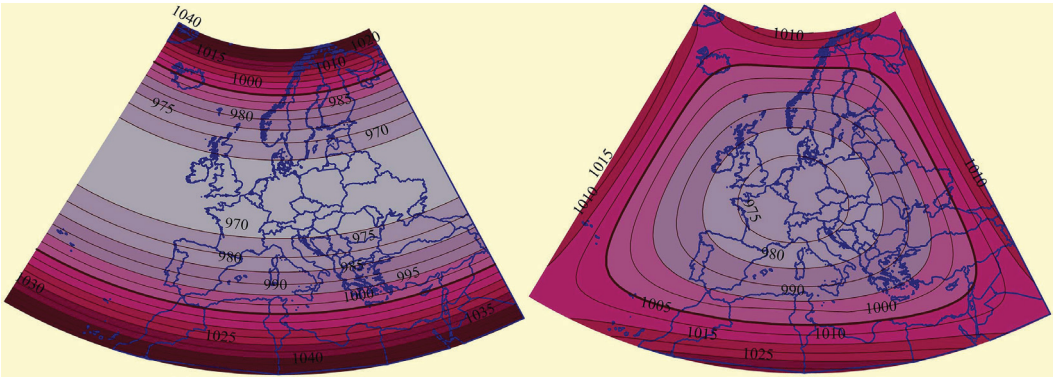


Figure 1: Isocole map of linear scale distribution (multiplied by 1000) for the ETRS-LCC projection (left), and for the optimal CAMREL projection (right).

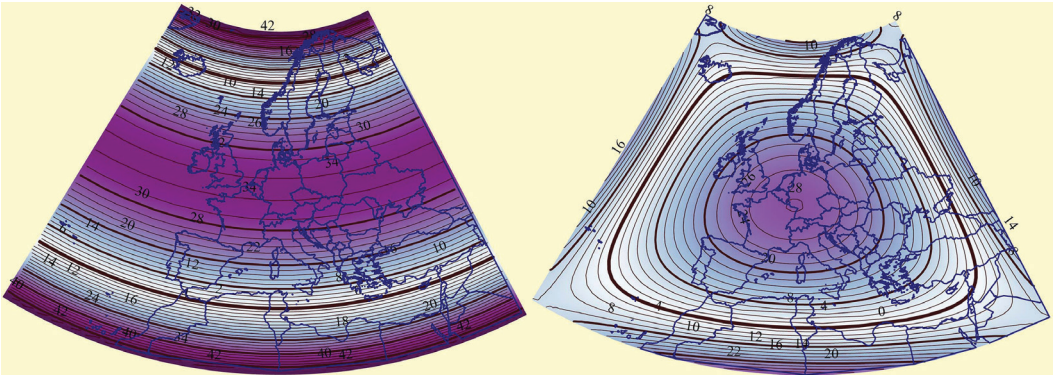


Figure 2: Isocole map of absolute linear distortion (multiplied by 1000) for the ETRS-LCC projection (left), and for the optimal CAMREL projection (right).

4 CONCLUSION

The need for common European spatial datasets induces a strong demand for adopting standard map projections for pan-European mapping. The Lambert conformal conic projection (ETRS-LCC) was chosen for the scales equal or smaller to 1:500,000 that require the conformal mapping of an ellipsoid to a plane. However, if one adopts the general criteria when selecting a projection, which is "to select a projection in which the extreme distortions are smaller than would occur in any other projection used to map the same area" (Maling, 1989), then the general rule for selecting a projection for conformal mapping would be to achieve the least possible linear distortions. This paper proves that this rule has not

been met with ETRS-LCC projection. It is shown that the CAMPREL projection defined for the area of interest has significantly better characteristics. The maximum absolute linear distortion is 0.028069 compare to the maximum absolute linear distortion of 0.043704 for the ETRS-LCC. Also, linear distortion distribution for the CAMPREL projection changes radially and relatively evenly, in all directions, following the form of the area boundary, while in ETRS-LCC, the linear distortion changes just in the direction of south-to-north and with faster decrease approaching the standard parallels.

Clearly, the CAMPREL projection designed for pan-European mapping better meets the projection selection criteria. Authors believe that the subject area cannot be better conformally mapped, that is, any other conformal projection will cause a maximum absolute linear distortion greater than 0.028069. They leave to other map projection experts to refute or confirm this claim.

Literature and reference:

Annoni, A., Luzet, C., Gubler, E., Ihde, J. (Eds). (2001). *Map Projections for Europe*. Joint Research Centre, EUR 210120 EN.

Annoni, A., and Luzet, C. (Eds). (2000). *Spatial Reference Systems for Europe*. Joint Research Centre, EUR19575 EN. http://www.ec-gis.org/reports/spatial_ref.pdf.

Annoni, A., Smits, P. (2003). Main problems in building European environmental spatial data. *International Journal of Remote Sensing*, 24 (20), 3887–3902. DOI: <https://doi.org/10.1080/0143116031000103763>

Bermejo, M., Otero, J. (2005). Minimum conformal mapping distortion according to Chebyshev's principle: a case study over peninsular Spain. *Journal of Geodesy*, 79 (1–3), 124–134. DOI: <https://doi.org/10.1007/s00190-005-0450-5>

Bugayevskiy, L. M., Bocharov, A.E. (1974). O primenении asimetricnykh ravnougolnykh proekciy dlya sozdaniya kart na obširnie teritorii. *Geodeziya i Kartografiya*, 11, 61–65.

Bugayevskiy, L. M., Snyder, J.P. (1995). *Map projections. A reference manual*. London: Taylor and Francis.

Chebyshev, P. L. (1856). *Sur la construction des cartes' eographiques*. Reprinted in *Ouvres de P.L. Tchebychev*: NewYork: Chelsea Pub.Co., 1962.

Frankich, K. (1982). *Optimization of geographic map projection for Canadian territory*. Doctoral dissertation. Barnaby, B. C. Canada: Simon Fraser University.

Grave, D. A. (1911). Demonstration d' un theoreme de Tchebycheffgeneralise. *Journal für die reine und angewandte Mathematik (Grelles Journal)*, 140, 247–251. DOI: <https://doi.org/10.1515/crll.1911.140.247>

Habib, M. (2008). Proposal for developing the Syrian stereographic projection. *Survey Review*, 40 (307), 92–101. DOI: <https://doi.org/10.1179/003962608x253547>

Hill, G.W. (1908). Application ofTchebychev's principle in the projection of maps. *The Annals of Mathematics*, 10 (2), 23–36. DOI: <https://doi.org/10.2307/1967302>

ISO (2019). ISO 19111:2019, *Geographic information – Referencing by coordinates*, International Organization for Standardization. <https://www.iso.org/standard/74039.html>.

Kavrayskiy, V.V.(1958). *Isbrannyetrudy I, II, III Matematicheskaya kartografiya*, Moscow: Isdatelstvo Nedra.

Maling, D. H. (1989). *Measurements from Maps*. Oxford: Pergamon Press.

Nestorov, I. (1996). *Nove optimalne kartografske projekcije*. Belgrade: Zadužbina Andrejević.

Nestorov, I. (1997). CAMPREL: A New Adaptive Conformal Cartographic Projection. *Cartography and geographic information systems*, 24 (4), 221–227. DOI: <https://doi.org/10.1559/152304097782439295>

Maling, D. H. (1989). *Measurements from Maps*. Oxford: Pergamon Press.

Meshcheryakov I. A. (1968). *Teoreticheskie osnovy matematicheskoi kartografii*. Moscow: Isdatelstvo Nedra.

Mitrinović S. D. (1989). *Kompleksna analiza*. Belgrade: Građevinska knjiga.

Milnor, J. (1969). A Problem in Cartography. *The American Mathematical Monthly*, 76 (10), 1101–1112. DOI: <https://doi.org/10.1080/00029890.1969.12000424>

Orihuela, S. (2019). A proposal to include conformal harmonic polynomials in GIS software. *Applied Geomatics*, 11 (4), 331–338. DOI: <https://doi.org/10.1007/s12518-019-00262-x>

Pedzich, P. (2005). *Conformal projection with minimal distortions*. XXII International Cartographic Conference, La Coruña, ICA.

Tobler, W. (2011). *Notes and Comments on the Composition of Terrestrial and Celestial Maps – translation of J.H.Lambert work*. Preface, ESRI Press.

Tutić, D.(2010). Konformne projekcije za Hrvatsku s najmanjim apsolutnim linearnim defirmacijama. *Geodetski list*, 3, 157–173.

Tutić, D. (2009). *Optimal Conformal Polynomial Projections for Croatia According to the Airy/Jordan Criterion*. *Kartografijai Geoinformacije*, 8 (11), 48–67.

Urmayev, N.A.(1947). *Metody iziskaniya novyh kartograficheskikh proekciy*. Moscow: Voenno-topograficheskoye upravlenie generalnogo shtaba vooruzhonnyh syl SSSR.

Vasilica, D., Badea, A. C., Badea, G. (2019). Comparison between the 1970 stereographic projection and a double-stereographic projection. 19th International Multidisciplinary Scientific GeoConference SGEM 2019, pp. 749–756.



Nestorov I., Kilibarda M., Protić D. (2020). The optimal conformal projection for pan-European mapping. *Geodetski vestnik*, 64 (2), 214-226.
DOI: <https://doi.org/10.15292/geodetski-vestnik.2020.02.214-226>

Assoc. prof. dr. Ivan Nestorov, univ. grad. eng. of geod.

University of Belgrade, Faculty of Civil Engineering–
Department of Geodesy and Geoinformatics
Bulevar kralja Aleksandra 73, 11000 Belgrade, Serbia
e-mail: nestorov@grf.bg.ac.rs

Assist. prof. dr. Milan Kilibarda, univ. grad. eng. of geod.

University of Belgrade, Faculty of Civil Engineering–
Department of Geodesy and Geoinformatics
Bulevar kralja Aleksandra 73, 11000 Belgrade, Serbia
e-mail: kili@grf.bg.ac.rs

Assist. prof. dr. Dragutin Protić, univ. grad. eng. of geod.

University of Belgrade, Faculty of Civil Engineering–
Department of Geodesy and Geoinformatics
Bulevar kralja Aleksandra 73, 11000 Belgrade, Serbia
e-mail: protic@grf.bg.ac.rs

GLOBALNA ANALIZA ATMOSFERSKIH REFRAKCIJSKIH PROFILOV IZ PREKRIVANJ RADIJSKIH SIGNALOV COSMIC GPS

GLOBAL ANALYSIS OF ATMOSPHERIC REFRACTIVITY PROFILES FROM COSMIC GPS RADIO OCCULTATION SOUNDINGS

Shaoqi Gong, Cunjie Zhang, Geshi Tang, Yehui Zhang, Jing Han

UDK: 528.28:629.052

Klasifikacija prispevka po COBISS.SI: 1.01

Prispelo: 24. 9. 2019

Sprejeto: 8. 6. 2020

DOI: 10.15292/geodetski-vestnik.2020.02.227-240

SCIENTIFIC ARTICLE

Received: 24. 9. 2019

Accepted: 8. 6. 2020

IZVLEČEK

Atmosferska refrakcija je odvisna od temperature, tlaka in vodne pare. Iz GNSS ocenjena refrakcija ima dovolj dobro vertikalno ločljivost in točnost, da jo lahko vključimo v numerične modele napovedi vremena ter uporabimo v meteoroloških in klimatskih raziskavah. V študiji smo ovrednotili razlike med modelom refrakcije, pridobljenim iz sistema COSMIC, in izračuni iz podatkov vertikalne radiosondaže, in sicer za različne višine, geografske širine in letne čase. Analizirali smo časovne in globalne prostorske porazdelitvene vzorce atmosferske refrakcije na podlagi podatkov COSMIC za atmosferske ravni, kjer zračni tlak znaša 925 hPa in 300 hPa. Rezultati so pokazali, da je ocenjena refrakcija v splošnem podobna oceni iz podatkov radiosond. Razlika se značilno manjša z višino, ko je v troposferi tlak nad 300 hPa, nad tropopavzo pa so razlike komaj še zaznavne. Izrazite razlike med oceno refrakcije iz podatkov COSMIC oziroma podatkov, pridobljenih z radiosondami, se kažejo s spreminjanjem geografske širine in z letnim časom. Globalna refrakcija COSMIC na višini, kjer je tlak 825 hPa, je najvišja v tropskem pasu ter se manjša proti severni in južni hemisferi. V atmosferi na višini, kjer je tlak 300 hPa, je z refrakcijo ravno nasprotno. Anomalije refrakcije glede na srednjo letno vrednost so večje v januarju in juliju, manjše pa v aprilu in oktobru.

KLJUČNE BESEDE

atmosferska refrakcija, COSMIC, GPS-radarska prekrivanja, radiosonda, časovna in prostorska porazdelitev

ABSTRACT

Atmospheric refractivity is a function of temperature, pressure and water vapor. The refractivity retrieved from the GNSS radio occultation soundings has fine vertical resolution and high accuracy, so it can be used to improve the accuracy of numerical weather prediction models and in climate and meteorological research. This study evaluates differences of refractivity from the COSMIC against radiosondes (RS) at different atmospheric levels, latitudes and seasons. Then temporal and global spatial distribution patterns of the COSMIC refractivity are analyzed at the atmospheric levels of 925 and 300 hPa. The results indicate that the COSMIC and RS refractivities are in generally good agreement. The differences between COSMIC and RS refractivity decrease with increasing height in the troposphere above 300 hPa, and the differences are very small above the tropopause. The COSMIC-RS differences exhibit distinct latitudinal and seasonal variation. The global COSMIC refractivity at 925 hPa is the highest in the tropics, and it decreases with increasing latitude in the NH and SH. However, the refractivity at the atmospheric levels of 300 hPa is just the opposite. Refractivity anomalies relative to the annual mean values in January and July are significant, whereas the differences are not as large in the transitional seasons of April and October.

KEY WORDS

atmospheric refractivity, COSMIC, GPS radio occultation, radiosonde, temporal and spatial distribution

1 INTRODUCTION

When an electromagnetic wave travels through the atmosphere, the wave is bent (refracted), and the signal is delayed due to the vertical gradient of density in the atmosphere; this phenomenon has a crucially important effect on radar detection, satellite navigation and radio communication systems on Earth (Karimian et al., 2011; Tang et al., 2019). Corrections for radio refraction can improve the accuracy of radar measurements and the performance of communication systems (Jiang and Wang, 2001). The refractivity is dependent on the air temperature, pressure and humidity (Smith and Weintraub, 1953). Hence, the atmospheric refractivity is an essential variable in numerical weather prediction data assimilation (Kuo et al., 2000).

The atmospheric refractivity can be retrieved by radar measurements (Zhang et al., 2015; Lòpez and Río, 2018), radiosonde soundings (Kapungu et al., 1981; Adeyemi, 2004), ground-based GPS receivers (Bevis et al., 1992; Lowry et al., 2002; Liao et al., 2016), and low Earth orbit (LEO) satellite GNSS RO soundings (Ao et al., 2003; Cucurull et al., 2006). Weather radar has a suitable vertical and horizontal resolution for measuring refractivity, but there are few stations globally. A radiosonde (RS) is a conventional instrument for observing atmospheric profiles; it has a long history and near-global coverage over land, but are usually launched only twice a day. Bevis et al. (1992) first presented an approach to retrieve atmospheric water vapor based on ground-based GPS receivers. Lowry et al. (2002) estimated the refractivity structure by establishing a model between ground-based GPS excess phase path and the refractivity. Ground-based GPS receivers have very high temporal resolution with a 5-min interval, however, these receivers are limited to land.

Although radio occultation (RO) was recognized as an important potential technology to characterize the atmosphere as early as the 1960s (Phinney and Anderson, 1968; Fjeldbo and Eshleman, 1969), due to the high cost of space-borne transmitters and insufficient accuracy of satellite positioning in the early period, the first LEO satellite (MicroLab-1) with a GPS RO receiver was not launched until 3 April 1995 (Ware et al., 1996). These first RO soundings exhibited fine vertical resolution and high accuracy (within 1 K) for the air temperature and geopotential height of 10–20 m (Poli et al., 2002). Subsequently, many RO missions were successively launched. The German Challenging Minisatellite Payload (CHAMP) and the Argentinean Satélite de Aplicaciones Científicas-C (SAC-C) were launched in 2000, and approximately 350–500 RO soundings per day were obtained from the two satellites (Wickert et al., 2001; Hajj et al., 2004). The joint US-Taiwan mission FORMOSAT-3/COSMIC (Formosa Satellite Mission-3/Constellation Observing System for Meteorology, Ionosphere and Climate; hereafter COSMIC) was launched on 14 April 2006 and was just recently (1 May 2020) decommissioned. The mission consisted of a constellation of six identical small satellites and provided about 2000 RO soundings per day from 2006 to 2015 distributed around the globe in near-real-time (Rocken et al., 2000; Anthes, 2011; Ho et al., 2019).

Since RO soundings have many advantages including low cost, high accuracy, high vertical resolution, no need for calibration, long-term stability, unaffected by cloud cover or rainfall, and global coverage (Anthes et al., 2000; Anthes, 2011), they have received increased attention for monitoring the climate and predicting the weather. Various types of data such as bending angle, refractivity, temperature, and precipitable water vapor, which are retrieved from RO soundings, are also used increasingly in

climate and meteorological studies (Liu and Zou, 2003; Huang et al., 2005; Wee et al., 2008). Kuo et al. (2000) concluded that the bending angles and refractivity were the two best candidates for assimilation and it was demonstrated that the use of these parameters had a significant positive impact on global and regional weather prediction. Cucurull et al. (2006) assessed the impact of simulated COSMIC GPS RO refractivity on operational weather analysis in the Antarctic. Chen et al. (2009) developed a nonlocal observation operator to assimilate COSMIC RO refractivity in the Weather Research and Forecasting Model (WRF) and the three-dimensional variational data assimilation (3DVAR) system. Ha et al. (2014) assimilated GPS RO soundings from COSMIC and CHAMP in the Weather Research and Forecast (WRF) model to analyze and forecast a heavy rainfall event over the Korean Peninsula in October 2006.

Many studies on the accuracy assessment of RO soundings both COSMIC and other missions have been carried out. Kuo et al. (2004) evaluated the accuracy of refractivity from CHAMP RO soundings. Lohmann (2007) analyzed the errors characteristics from SAC-C RO measurements. Poli et al (2009) assessed the quality of bending angle, refractivity, refractivity lapse rate and temperature from COSMIC RO soundings. Xu et al. (2009) compared the refractivity differences between COSMIC and radiosondes in different altitudes, latitudes and seasons. Anthes (2011) reviewed studies that showed that RO could provide accurate and precise atmospheric profiles of electron density, refractivity, temperature and water vapor by multi-satellite missions CHAMP, SAC-C, GRACE, METOP-A, TerraSAR-X and COSMIC. Chen et al. (2011) estimated the observational errors of refractivity and linear excess phase from COSMIC GPS RO data. Wang et al. (2013) assessed the accuracy of COSMIC RO retrieval products including temperature, specific humidity, water vapor pressure and refractivity by comparing with global radiosonde data. Schreiner et al. (2020) evaluated signal-to-noise ratio of COSMIC-2 soundings from GPS and GLONASS signals and estimated the differences of bending angle and refractivity between COSMIC-2 and other data sets.

Since COSMIC RO soundings are of high vertical resolution and accuracy, they can be used to evaluate the quality of measurements from other instruments. He et al. (2009) assessed the performance of radiosonde for temperature measurements using COSMIC RO data. Ho et al. (2010, 2017) evaluated the systematic biases of water vapor and temperature from radiosonde measurements using COSMIC RO soundings. However, there have been very few studies of COSMIC refractivity compared to radiosonde refractivity on a global basis.

In this study, COSMIC RO refractivities were first matched with RS data in the range of 2 h and 300 km. Subsequently, daily refractivity at different atmospheric levels in January, April, July and October 2014 were compared with corresponding radiosonde data. Then the differences between COSMIC and RS refractivity at different heights, latitudes and seasons were determined. Finally, the temporal and spatial distribution patterns of COSMIC refractivity in the globe were considered. This paper is organized as follows: Section 2 presents the data used in the analysis and the preprocessing methods; Section 3 discusses the COSMIC-RS refractivity differences at different heights, latitudes and seasons, and the temporal and spatial distribution patterns of COSMIC refractivity in the globe; Section 4 provides the summary and conclusions.

2 DATA AND METHODS

2.1 Refractivity profiles retrieved from COSMIC GPS RO soundings

RO soundings are obtained by a GPS receiver on the COSMIC satellites when the radio signal from a GPS satellite traverses Earth's atmosphere. The basic parameters of the sounding are the amplitude and phase of the carrier signals. After the clock biases of the GPS transmitter and COSMIC GPS receiver have been calibrated, the Doppler frequency shift of the carrier signal can be computed by the amplitude and phase (Hajj et al., 2002). The bending angle α , which is defined as the angle between the incident and outgoing directions of the GPS radio signal and is a function of the impact parameter a , is determined from the Doppler frequency shift, the position and the velocity of the spacecraft (Rocken et al., 1997; Liao et al., 2016). After the ionospheric effects have been removed, the bending angle is converted to the refractive index $n(r)$ using the Abel integral algorithm under the assumption of local spherical symmetry (Fjeldbo et al., 1971):

$$n(r) = \exp\left[\frac{1}{\pi} \int_x^\infty \frac{\alpha(a)}{\sqrt{a^2 - x^2}} da\right] \quad (1)$$

Since n is typically close to 1 in the atmosphere, it is more convenient to use the refractivity N instead. Hence, the refractivity N can be calculated by the refractive index n ,

$$N(r) = (n - 1) \times 10^6 \quad (2)$$

In this study, the global atmospheric refractivity data were downloaded from the COSMIC Data Analysis and Archive Center (<https://cdaac-www.cosmic.ucar.edu/cdaac/products.html#cosmic>). The data were post-processing level-2 wetPrf files including the profiles of pressure, height, refractivity, temperature and water vapor pressure with 100 m vertical resolution; the data were the result of one-dimensional variational analysis using low-resolution reanalysis data of the European Centre for Medium-Range Weather Forecasts (ECMWF) (Wang et al., 2013; Hande et al. 2015).

2.2 Refractivity profiles retrieved from radiosonde soundings

Since the global radiosonde network was established in the early 1940s, radiosondes have been the principal instruments used for observing the troposphere and lower stratosphere. There are more than 1000 radiosonde stations distributed worldwide (Ware et al., 1996; Wang et al., 2005). Radiosonde balloons are launched twice a day at 00:00 and 12:00 UTC to observe the atmospheric profiles. The observations include geopotential height, air pressure, air temperature, relative humidity, wind speed and wind direction at standard levels (1000, 925, 850, 700, 500, 400, 300, 250, 200, 150 and 100 hPa). Under ideal conditions and after careful calibration, radiosondes provide data with an accuracy of about $\pm 0.5^\circ\text{C}$ for temperature and a few percent for relative humidity (Zhai and Eskridge, 1997; Ware et al., 1996). Hence, radiosondes have been regarded as a benchmark to calibrate satellite-based remote sensing data and validate satellite retrieval results (Wang et al., 2005). In this study, the refractivity profiles calculated from RS soundings are compared to the COSMIC refractivity profiles. The radiosonde refractivity at each standard atmospheric level is calculated using data for air temperature, air pressure and water vapor partial pressure and the Smith and Weintraub (1953) equation:

$$N = 77.6 \frac{P}{T} + 3.73 \times 10^5 \frac{e}{T^2} \quad (3)$$

where N is the refractivity in N-units, T is the temperature in Kelvin, P and e are pressure and water vapor partial pressure in hPa, respectively. The global RS daily data were obtained from the Meteorological Observatory at Nanjing University of Information Science and Technology, China.

2.3 Co-location of COSMIC RO refractivity with radiosonde data

The positions of all the COSMIC occultation points change daily, whereas those of the global radiosonde stations are relatively fixed, except for small changes due to balloon drift. In order to compare the COSMIC refractivity data and the radiosonde data, the observation times and positions for two datasets at each point must be close. Similar to previous studies, the COSMIC RO refractivity data were matched to the radiosonde data within 300 km and 2 h (Kuo et al., 2005; Hayashi et al., 2009; Xu et al., 2009). The processing consisted of the following steps: first, a vector file was generated for the longitude and latitude of the global radiosonde stations and a circular buffer with a radius of 300 km around each radiosonde station was created; second, the vector file of the COSMIC RO refractivity was generated using the geographical coordinates of all occultation points. Then, all the daily COSMIC vector files were respectively integrated with the radiosonde buffer area file using an intersection operation, and the attributes of the points were joined to create a spatial match of both datasets. These procedures are quickly implemented through the batch module in the Geographic Information System software ArcGIS 10.5. Third, a time difference of ± 2 hours was considered for the match between the COSMIC RO refractivity and the radiosonde data. For example, for 2 January 2014, there were 123 co-located occultation points (Figure 1). Each COSMIC refractivity profile had 400 levels with a 100-m interval, whereas the radiosonde data had a dozen levels in the vertical profile. The refractivity values at standard atmospheric levels of 1000, 925, 850, 700, 500, 400, 300, 250, 200, 150, and 100 hPa, which correspond to approximate atmospheric heights of 0.13, 0.78, 1.49, 3.07, 5.68, 7.32, 9.33, 10.53, 11.96, 13.80 and 16.36 km respectively, were selected for the comparison. There were possible outliers in the matched pairs at different atmospheric levels and when the outliers were excluded from the matched pairs, the number of the matched pairs was different at each atmospheric level.

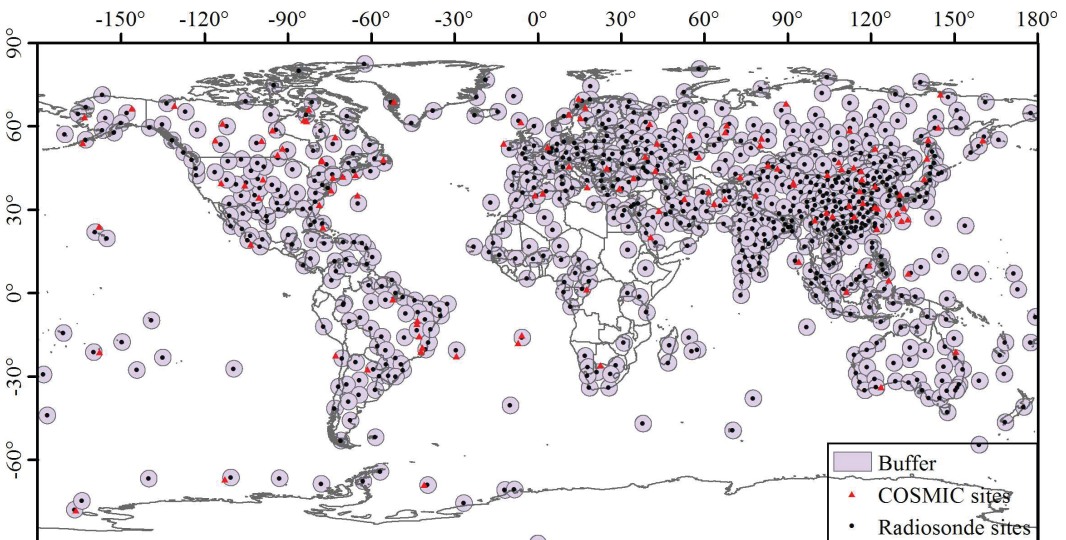


Figure 1: Co-location of COSMIC RO refractivity with radiosonde data on 2 January 2014.

3 RESULTS AND DISCUSSION

3.1 Comparison of COSMIC and radiosonde refractivity

Vertical profiles of the mean and standard deviation of the COSMIC refractivities are shown in Figure 2a. The mean and standard deviations of the refractivity decrease with height. The relationship between atmospheric refractivity and the height can be expressed by an exponential model (Bean and Thayer, 1959).

The COSMIC refractivity at each atmospheric level was compared with that of the radiosonde and scatter plots of the COSMIC vs radiosonde refractivity were created for each level (Figure 2b–l). The mean bias (MB), root mean square difference (RMSD) and mean absolute percentage difference (MAPD) were calculated. When the MB is close to 0, the RMSD and MAPD are small, and the points are distributed near the 1:1 line, the fitted line is very close to the 1:1 line in the scatter plot, indicating good agreement between the COSMIC and RS refractivity. The differences are caused by observational errors in both the COSMIC and radiosonde data. Additionally, they are also associated with the sampling differences due to separation in time and space (Sun et al. 2010; Gilpin et al, 2018) and the representativeness errors (Staten and Reichler, 2009; Anthes and Rieckh, 2018).

Figure 2b–l shows the scatter plots of the refractivity between COSMIC and radiosonde at different atmospheric levels, the number of the matched pairs is 4409 at 1000 hPa, increases to the maximum of 9136 at 500 hPa, and then decreases gradually to 6236 at 100 hPa. As seen in the scatter plots, most of the matched data points are distributed near the 1:1 line (dashed lines), and the correlation coefficients range from 0.752 to 0.966; indicating that there is generally good agreement between the COSMIC and the radiosonde refractivities. The correlation coefficients are relatively low (about 0.75) at the levels of 1000–750 hPa, they increase to 0.85 at 500 hPa and are higher than 0.90 above 400 hPa. The RMSD decreases with height. The MAPD is 4.29% near the ground at 1000 hPa, reaches a minimum of 0.72% at the top of the troposphere at 300 hPa, and then increases slightly to 0.89% in the lower stratosphere at 100 hPa. Although the COSMIC and radiosonde refractivity differences decline with an increase in the height, the MAPD increases slightly above the tropopause, consistent with the fact that the percentage errors of RO generally increase with height throughout the stratosphere (as shown, for example, in Schreiner et al., 2020). The mean bias (MB) is -3.82 N-units near the ground at 1000 hPa, decreases to -0.05 N-units with increasing height, and then stabilizes at about -0.05 N-units at the subsequent levels. The MB is negative at all atmospheric levels, which indicates that the COSMIC refractivity is slightly lower than the radiosonde refractivity. As shown in the scatter plots, the discrepancy between the fitted line and the 1 : 1 line in the scatter plots is relatively large at the atmospheric levels of 1000–500 hPa, but there is less discrepancy at atmospheric levels below 400 hPa, and the two lines are nearly coincident at the levels of 150 and 100 hPa. These results show that the differences of the COSMIC-RS refractivity are a little larger below 500 hPa; this is mainly attributed to relatively larger errors of COSMIC refractivity due to the influence of the atmospheric water vapor causing strong refractivity gradients (Sokolovskiy, 2003) and the low signal-to-noise ratio in the lower troposphere. These results are consistent with the previous validations for RO data (Kuo et al., 2005; Schreiner et al., 2007; Anthes et al., 2008). On the whole, the differences of COSMIC-RS refractivity decrease as the atmospheric height increased in the range of 1000–100 hPa.

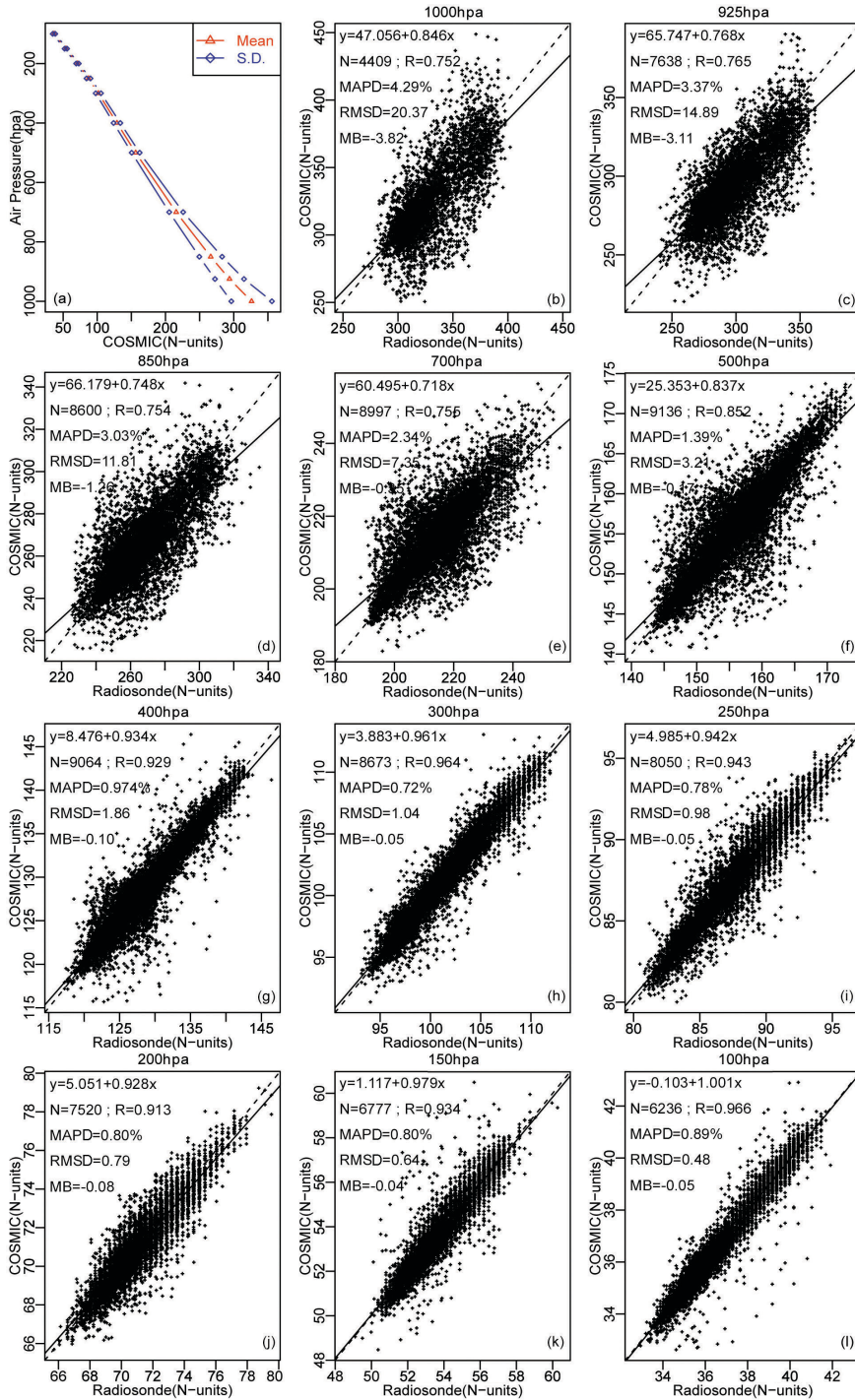


Figure 2: Scatter plots of the global COSMIC vs RS refractivity at different levels. The dashed line is the 1:1 line. The solid line is the best fit of the RO to the RS data.

3.2 Latitudinal variations of COSMIC-RS refractivity differences

We next show the COSMIC-RS refractivity differences in three latitude bands, 30°–30°N (tropics), 30°–60° in the northern hemisphere (NH) and southern hemisphere (SH) for middle latitudes, and 60°–90° for high latitudes. The MB, RMSD and MAPD of COSMIC refractivity were calculated for the three latitude bands (Figure 3).

Figure 3a shows the MB at different latitudes. The absolute values of MB decrease with increasing height from 1000 to 400 hPa, and the MB is highest at –6.984 N-units in the low latitudinal tropical area, the values for the middle latitudinal area are –3.730 N-units, and the lowest is for the high latitudinal area at –1.723 N-units. This is mainly related to atmospheric humidity in the lower troposphere; the water vapor content is higher in the tropics than in the middle and high latitudes, which results in large observational errors of both COSMIC and radiosonde data. Figure 3b shows that the RMSD of COSMIC-RS refractivity decreases with height at all latitudes. At the levels of 1000–400 hPa, the RMSD is largest from 2.10 to 26.10 N-units at low latitudes, lower at middle latitudes from 1.85 to 19.53 N-units, and smallest at high latitudes from 1.61 to 11.00 N-units. Figure 3c shows the MAPD of COSMIC-RS refractivity at different latitudes, the MAPD decreases with increasing height, reaches the minimum at 300 hPa, and then rises slightly above 300 hPa. At the levels of 1000–400 hPa, the MAPD is largest for 1.20–5.73 % at low latitudes, smaller at middle latitudes for 0.96–4.19 %, and smallest at high latitudes for 0.79–2.39 %.

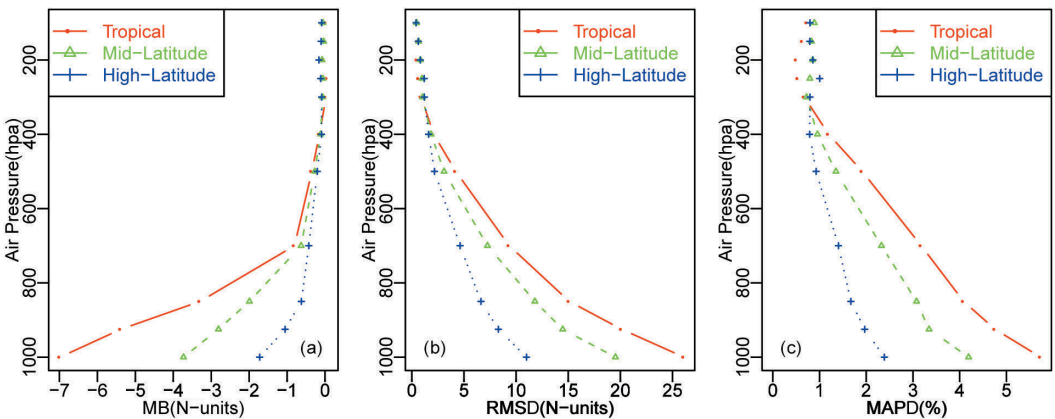


Figure 3: COSMIC-RS refractivity differences averaged over different latitude bands.

3.3 Seasonal variations of COSMIC-RS refractivity differences

In order to determine the seasonal differences between COSMIC and RS refractivity, here January in the NH and July in the SH represent winter, April in the NH and October in the SH represent spring, July in the NH and December in the SH represent summer, and October in the NH and April in the SH represent autumn. The MB, RMSD and MAPD of COSMIC-RS refractivity were calculated for the different seasons.

Figure 4 shows vertical profiles of the MB, RMSD, and MAPD statistics for the COSMIC-RS refractivity differences in the four seasons. Below 300 hPa, all three measures of differences are greatest in summer, which is expected because of the higher water vapor content in the troposphere. The negative biases are smallest in spring. The RMS differences are smallest in winter and spring while the smallest mean

absolute percentage differences occur in winter. Hence, the COSMIC-RS refractivity differences in the troposphere exhibit significant variation throughout the seasons and decrease from summer, autumn, spring, to winter. However, above 300 hPa, only small differences are observed.

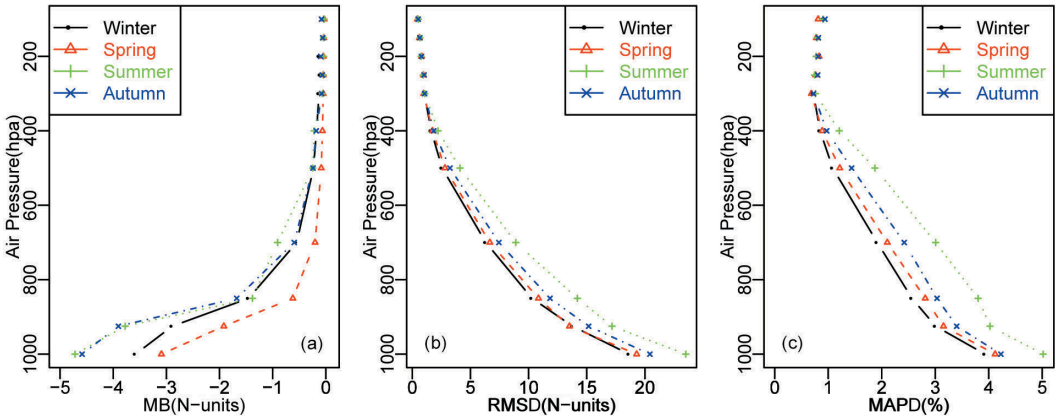


Figure 4: Vertical profile of COSMIC-RS refractivity differences in different seasons.

3.4 Spatio-temporal analysis of global COSMIC refractivity

In this section, we present the spatio-temporal analysis of global COSMIC refractivity. The COSMIC daily refractivity at 925 and 300 hPa were interpolated respectively with the cell size of 0.5° in the globe using the inverse distance weighted method, and the daily interpolated COSMIC refractivity at the two atmospheric levels in 2014 were averaged to generate global distribution maps of annual mean refractivity (Figure 5a and 5f), then the monthly mean refractivities in January, April, July and October were subtracted from the annual means, and the refractivity difference maps were drawn for four typical months (Figure 5b–5e and 5h–5j). These maps represent the global spatial patterns of COSMIC refractivity in the atmospheric boundary layer and the top of the troposphere in whole year and at different seasons.

The left panels in Figure 5 show global distribution maps of the COSMIC annual mean refractivity (5a) and the departures from the annual mean for January, April, July and October 2014 (5b, 5c, 5d and 5e) at 925 hPa. The highest refractivity ranges from 305 to 325 N-units at low latitudes, especially over the oceans; the refractivity is relatively low (275–295 N-units) in the latitudes above 30° in the NH and SH. Hence, the variability of global refractivity in the atmospheric boundary layer is mainly dominated by water vapor, and the global distribution pattern of refractivity is also in accordance with the water vapor (Barton, 2004; Chen and Liu, 2016). Due to the differences of water vapor in different seasons and latitudes and the different seasons in the NH and SH, the refractivity in January and April in the NH is lower than the annual mean value, and the maximum difference reaches -14.8 N-units, while the refractivity in the SH is higher than the annual mean value, and the maximum difference is close to 12.7 N-units. The global refractivity in July and October displays the inverse pattern, the refractivity anomalies at the latitudes for $0-60^\circ$ N in the NH and $0-30^\circ$ S in the SH are largest. In four representative months, the differences of refractivity in January and July are most significant while those in April and October are rather less.

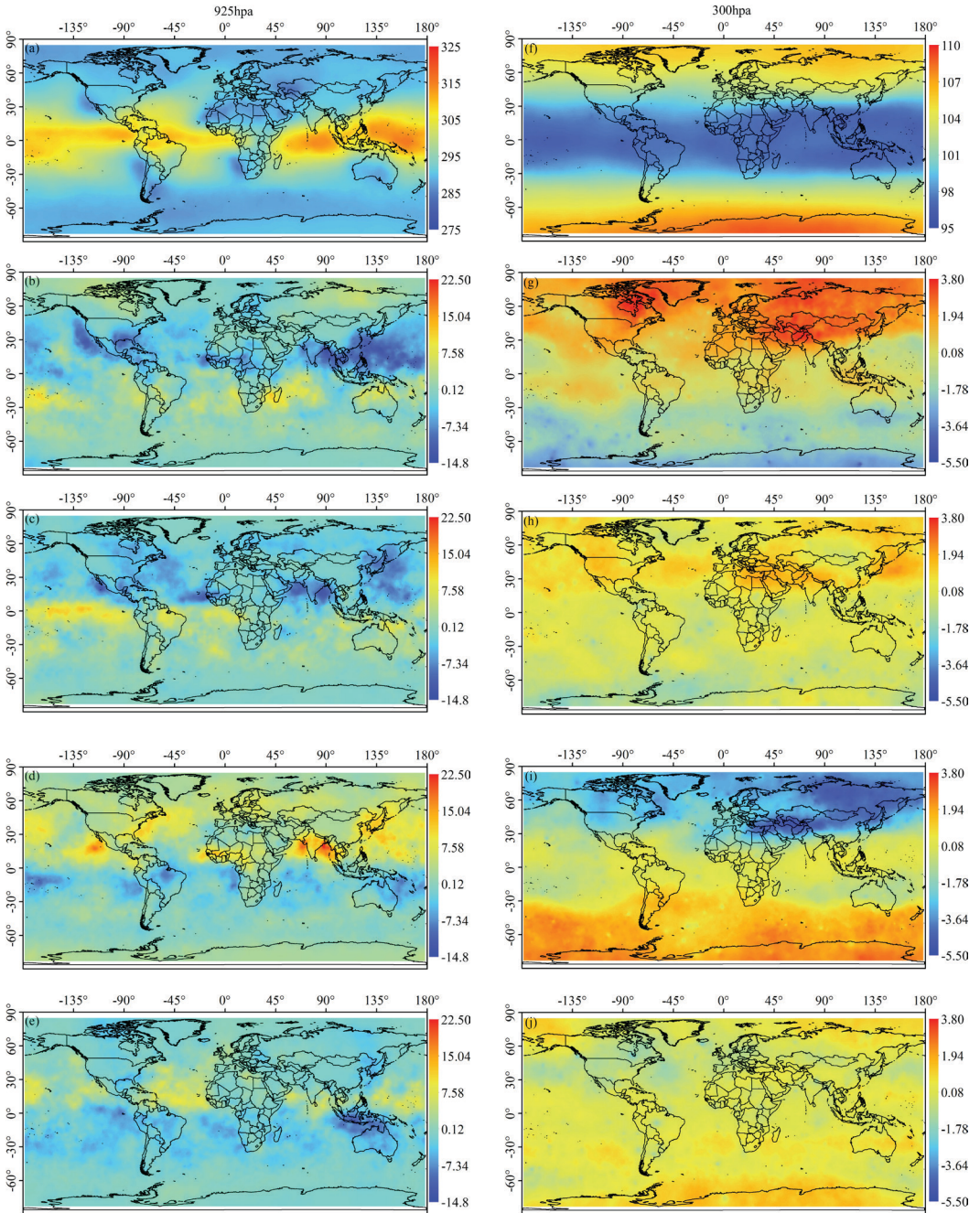


Figure 5: Global distribution maps of the COSMIC annual mean refractivity and anomalies (differences from the annual mean) in four typical months at 925 and 300 hPa (Left and right panels represent levels of 925 and 300 hPa; Row 1 is COSMIC annual mean refractivity; Rows 2–5 are the refractivity anomalies in January, April, July and October respectively.)

The right panels in Figure 5 show global distribution maps of the COSMIC mean annual refractivity

(5f) and the departures from the annual mean for January, April, July and October 2014 (5g, 5h, 5i and 5j) at 300 hPa. Since this level is in the upper troposphere, the global refractivity is rather low (Figure 5f), and the refractivity is the smallest in the tropics at 30°S–30°N, then it increases gradually with latitude increasing in the NH and SH. At this upper tropospheric level, the water vapor pressure is small, and the refractivity is mainly determined by temperature and is inversely proportional to temperature. Since January belongs to winter in the NH and summer in the SH, and air temperature decreases as latitude increases, the refractivity in middle and high latitudes in the NH is very high. Hence there is a high positive anomaly compared with the annual mean value, and the relatively high negative bias is in middle and high latitudes in the SH. The global distribution pattern of refractivity shows an inverse pattern in July; there is a high negative anomaly in the latitudes above 30°N in the NH and positive anomaly in latitudes above 30°S in the SH. April and October are in the transitional seasons, the refractivities in these two months are a little higher than the mean annual values, and their differences are not very large.

4 SUMMARY AND CONCLUSIONS

This study evaluated the differences of COSMIC RO-RS refractivity at different atmospheric levels, latitudes, and seasons. The temporal and global spatial distribution patterns of COSMIC refractivity were analyzed at atmospheric levels of 925 and 300 hPa. We conclude the following:

1. The COSMIC RO refractivity is in good agreement with the radiosonde refractivity at different atmospheric levels. The COSMIC-RS refractivity differences decrease with increasing height in the troposphere above 300 hPa and are very small above the tropopause.
2. The COSMIC RO-RS refractivity differences exhibit distinct latitudinal variations. At atmospheric levels above 400 hPa, the differences of COSMIC-RS refractivity are highest at low latitudes, intermediate at middle latitudes, and lowest at high latitudes, whereas the opposite is observed below 400 hPa.
3. The COSMIC RO-RS refractivity differences in the troposphere exhibit significant variation throughout the seasons and decrease from summer, autumn, spring, to winter. However, above the tropopause, only small differences are observed.
4. The global annual mean refractivity at 925 hPa is the highest in the tropics and decreases as latitude increases in the NH and SH. The variability of refractivity at this level is mainly dominated by water vapor. However, the global annual mean refractivity distribution at 300 hPa is just the opposite because the refractivity is mainly determined by temperature. Refractivity anomalies relative to the annual mean values in January and July are very significant, whereas the differences are not large in the transitional seasons of April and October.

Acknowledgments

This research was funded jointly by the construction project of weather modification in the Northwest China from China Meteorological Administration (grant number: RYSY201907), the Foundation of Key Laboratory of South China Sea Meteorological Disaster Prevention and Mitigation of Hainan Province, China (grant number: SCSF201909) and the research fund of NUIST-UoR International Research Institute (grant number: 1321041901001). The authors are very grateful to two anonymous reviewers

and the editors for their constructive and helpful suggestions. The authors thank the COSMIC Data Analysis and Archive Center (CDAAC) for the data support.

Literature and references:

- Adeyemi, B. (2004). Tropospheric Radio Refractivity over Three Radiosonde Stations in Nigeria. *Life Journal of Science*, 6, 167–176. DOI: <https://doi.org/10.4314/ijs.v6i2.32144>
- Anthes, R. A. (2011). Exploring Earth's atmosphere with radio occultation: contributions to weather, climate and space weather. *Atmospheric Measurement Techniques*, 4, 1077–1103. DOI: <https://doi.org/10.5194/amt-4-1077-2011>
- Anthes, R., Rieckh, T. (2018). Estimating observation and model error variances using multiple data sets. *Atmospheric Measurement Techniques*, 11, 4239–4260. DOI: <https://doi.org/10.5194/amt-11-4239-2018>
- Anthes, R. A., Rocken, C., Kuo, Y.H. (2000). Applications of COSMIC to Meteorology and Climate. *Terrestrial Atmospheric & Oceanic Sciences*, 11 (1), 115–156. DOI: [https://doi.org/10.3319/TAO.2000.11.1.115\(COSMIC\)](https://doi.org/10.3319/TAO.2000.11.1.115(COSMIC))
- Anthes, R. A., Ector, D., Hunt, D. C., Kuo, Y.H., Rocken, C., Schreiner, W.S., Sokolovskiy, S., Syndergaard, S., Wee, T. K., Zeng, Z., Bernhardt, P. A., Dymond, K. F., Chen, Y., Liu, H., Manning, K., Randel, W. J., Trenberth, K. E., Cucurull, L., Healy, S. B., Ho, S.P., McCormick, C., Meehan, T. K., Thompson, D. C., Yen, N. L. (2008). The COSMIC/FORMOSAT-3 Mission: Early Results. *Bulletin of the American Meteorological Society*, 89, 313–333. DOI: <https://doi.org/10.1175/BAMS-89-3-313>
- Ao, C. O., Meehan, T. K., Hajj, G. A., Mannucci, A. J., Beyerle, G. (2003). Lower Troposphere Refractivity Bias in GPS Occultation Retrievals. *Journal Geophysical Research*, 108, 4577. DOI: <https://doi.org/10.1029/2002JD003216>
- Barton, I. J. (2004). Global water vapor analyses over the oceans using Along Track Scanning Radiometer infrared data. *Journal Geophysical Research*, 109, D02303. DOI: <https://doi.org/10.1029/2002JD002856>
- Bean, B. R., Thayer, G. D. (1959). Central Radio Propagation Laboratory Experiments Reference Atmosphere. *J. Research of the National Bureau of Standards D. Radio propagation*. 63D, 315–317.
- Bevis, M., Businger, S., Herring, T., Rocken, C., Anthes, R., Ware, R. (1992). GPS Meteorology: Remote Sensing of Atmospheric Water Vapor Using the Global Positioning System. *Journal Geophysical Research*, 97, 15787–15801. DOI: <https://doi.org/10.1029/92JD01517>
- Chen, B., Liu, Z. (2016). Global water vapor variability and trend from the latest 36 year (1979 to 2014) data of ECMWF and NCEP reanalyses, radiosonde, GPS, and microwave satellite. *Journal of Geophysical Research: Atmospheres*, 121, 11442–11462. DOI: <https://doi.org/10.1002/2016JD024917>
- Chen, S. Y., Huang, C. Y., Kuo, Y. H., Guo, Y. R., Sokolovskiy, S. (2009). Assimilation of GPS Refractivity from FORMOSAT-3/COSMIC Using a Nonlocal Operator with WRF 3DVAR and Its Impact on the Prediction of a Typhoon Event. *Terrestrial, Atmospheric and Oceanic Sciences*, 20 (1), 22, 133–154. DOI: [https://doi.org/10.3319/TAO.2007.11.29.01\(F3C\)](https://doi.org/10.3319/TAO.2007.11.29.01(F3C))
- Chen, S. Y., Huang, C. Y., Kuo, Y. H., Sokolovskiy, S. V. (2011). Observational error estimation of FORMOSAT-3/COSMIC GPS radio occultation data. *Monthly Weather Review*, 139, 853–866. DOI: <https://doi.org/10.1175/2010MWR3260.1>
- Cucurull, L., Kuo, Y. H., Barker, D., Rizvi, S. R. H. (2006). Assessing the impact of simulated cosmic GPS radio occultation data on weather analysis over the Antarctic: a case study. *Monthly Weather Review*, 134, 3283–3296. DOI: <https://doi.org/10.1175/mwr3241.1>
- Fjeldbo, G., Eshleman, V. R. (1969). Atmosphere of Venus as Studied with the Mariner 5 Dual Radio-Frequency Occultation Experiment. *Radio Science*, 4, 879–897. DOI: <https://doi.org/10.1029/RS004i010p00879>
- Fjeldbo, G., Kliore, G. A., Eshleman, V. R. (1971). The neutral atmosphere of Venus as studied with the Mariner V radio occultation experiments. *Astronomical Journal*, 76, 123–140. DOI: <https://doi.org/10.1086/111096>
- Gilpin, S., Rieckh, T., Anthes, R. A. (2018). Reducing representativeness and sampling errors in radio occultation–radiosonde comparisons. *Atmospheric Measurement Techniques*, 11, 2567–2582. DOI: <https://doi.org/10.5194/amt-11-2567-2018>
- Ha, J. H., Lim, G. H., Choi, S. J. (2014). Assimilation of GPS Radio Occultation Refractivity Data with WRF 3DVAR and Its Impact on the Prediction of a Heavy Rainfall Event. *Journal of Applied Meteorology and Climatology*, 53, 1381–1398. DOI: <https://doi.org/10.1175/JAMC-D-13-0224.1>
- Hajj, G. A., Ao, C. O., Iijima, B. A., Kuang, D., Kursinski, E. R., Mannucci, A. J., Meehan, T. K., Romans, L. J., Juarez, M. T., Yunck, T. P. (2004). CHAMP and SAC-C Atmospheric Occultation Results and Intercomparisons. *Journal of Geophysical Research*, 109, D06109. DOI: <https://doi.org/10.1029/2003jd003909>
- Hajj, G. A., Kursinski, E. R., Romans, L. J., Bertiger, W. I., Leroy, S. S. (2002). A Technical Description of Atmospheric Sounding by GPS Occultation. *Journal of Atmospheric and Solar-Terrestrial Physics*, 64, 451–469. DOI: [https://doi.org/10.1016/s1364-6826\(01\)00114-6](https://doi.org/10.1016/s1364-6826(01)00114-6)
- Hande, L. B., Siems, S. T., Manton, M. J., Lenschow, D. H. (2015). An evaluation of COSMIC radio occultation data in the lower atmosphere over the Southern Ocean. *Atmospheric Measurement Techniques*, 8, 97–107. DOI: <https://doi.org/10.5194/amt-8-97-2015>
- Hayashi, H., Furumoto, J. I., Lin, X., Tsuda, T., Shoji, Y., Aoyama, Y., Murayama, Y. (2009). Validation of Refractivity Profiles Retrieved from FORMOSAT-3/COSMIC Radio Occultation Soundings: Preliminary Results of Statistical Comparisons Utilizing Balloon-Borne Observations. *Terrestrial, Atmospheric and Oceanic Sciences*, 20 (1), 51–58. DOI: [https://doi.org/10.3319/TAO.2008.01.21.01\(F3C\)](https://doi.org/10.3319/TAO.2008.01.21.01(F3C))
- He, W., Ho, S. P., Chen, H., Zhou, X., Hunt, D., Kuo, Y. H. (2009). Assessment of radiosonde temperature measurements in the upper troposphere and lower stratosphere using COSMIC radio occultation data. *Geophysical Research Letters*, 36, L17807. DOI: <https://doi.org/10.1029/2009GL038712>
- Ho, S. P., Zhou, X., Kuo, Y. H., Hunt, D., Wang, J. (2010). Global Evaluation of Radiosonde Water Vapor Systematic Biases using GPS Radio Occultation from COSMIC and ECMWF Analysis. *Remote Sensing*, 2, 1320–1330. DOI: <https://doi.org/10.3390/rs2051320>
- Ho, S. P., Peng, L., Vomel, H. (2017). Characterization of the long-term radiosonde temperature biases in the upper troposphere and lower stratosphere using

COSMIC and Metop-A/GRAS data from 2006 to 2014. *Atmospheric Chemistry and Physics*, 17, 4493–4511. DOI: <https://doi.org/10.5194/acp-17-4493-2017>

Ho, S. P., Anthes, R. A., Ao, C. O., Healy, S., Horanyi, A., Hunt, D., Mannucci, A.J., Pedatella, N., Randel, W. J., Simmons, A., Steiner, A., Xie, F., Yue, X., Zeng, Z. (2019). The COSMIC-FORMOSAT-3 radio occultation mission after 12 years: accomplishments, remaining challenges, and potential impacts of COSMIC-2. *Bulletin of the American Meteorological Society*, 100. <https://journals.ametsoc.org/doi/pdf/10.1175/BAMS-D-18-0290.1>

Huang, C. Y., Kuo, Y. H., Chen, S. H., Vandenberghe, F. (2005). Improvements on Typhoon Forecasts with Assimilated GPS Occultation Refractivity. *Weather Forecasting*, 20, 931–953. DOI: <https://doi.org/10.1175/waf874.1>

Jiang, C. Y., Wang, B. (2001). Atmospheric Refraction Corrections of Radio Wave Propagation for Airborne and Satellite Borne Radars. *Science in China (Series E)*, 44, 280–290. DOI: <https://doi.org/10.1007/BF02916705>

Kapungu, G. P., Olanijan, O. O., Ajayi, G. O. (1981). A Sensitive Radiosonde for Refractivity Measurements in a Tropical Environment. *Journal of Physics E: Scientific Instruments*, 14, 817–821. DOI: <https://doi.org/10.1088/0022-3735/14/7/011>

Karimian, A., Yardim, C., Gerstoft, P., Hodgkiss, W. S., Barrios, A. E. (2011). Refractivity Estimation from Sea Clutter: an Invited Review. *Radio Science*, 46, RS6013. DOI: <https://doi.org/10.1029/2011RS004818>

Kuo, Y. H., Wee, T. K., Sokolovskiy, S., Rocken, C., Schreiner, W., Hunt, D., Anthes, R. A. (2004). Inversion and error estimation of GPS radio occultation data. *Journal of the Meteorological Society of Japan*, 84 (1B), 507–531. DOI: <https://doi.org/10.2151/jmsj.2004.507>

Kuo, Y. H., Schreiner, W. S., Wang, J., Rossiter, D. L., Zhang, Y. (2005). Comparison of GPS Radio Occultation Soundings with Radiosondes. *Geophysical Research Letters*, 32, L05817. DOI: <https://doi.org/10.1029/2004GL021443>

Kuo, Y. H., Sokolovskiy, S. V., Anthes, Richard, A., Vandenberghe, F. (2000). Assimilation of GPS Radio Occultation Data for Numerical Weather Prediction. *Terrestrial, Atmospheric and Oceanic Sciences*, 11 (1), 157–186. DOI: [https://doi.org/10.3319/tao.2000.11.1.157\(cosmic\)](https://doi.org/10.3319/tao.2000.11.1.157(cosmic))

Liao, M., Zhang, P., Yang, G. L., Bi, Y. M., Liu, Y., Bai, W. H., Meng, X. G., Du, Q. F., Sun, Y. X. (2016). Preliminary Validation of the Refractivity from the New Radio Occultation, sounder GNOS/FY-3C. *Atmospheric Measurement Techniques*, 9, 781–792. DOI: <https://doi.org/10.5194/amt-9-781-2016>

Liao, Q., Zheng, S., Shi, H. (2016). Joint Inversion of Atmospheric Refractivity Profile Based on Ground-Based GPS Phase Delay and Propagation Loss. *Atmosphere*, 7 (12). DOI: <https://doi.org/10.3390/atmos7010012>

Liu, H., Zou, X. (2003). Improvements to GPS Radio Occultation Ray-Tracing Model and Their Impacts on Assimilation of Bending Angle. *Journal of Geophysical Research*, 108, 4548. DOI: <https://doi.org/10.1029/2002jd003160>

Lohmann, M. S. (2007). Analysis of Global Positioning System (GPS) radio occultation measurement errors based on Satellite de Aplicaciones Científicas-C (SAC-C) GPS radio occultation data recorded in open-loop and phase-locked-loop mode. *Journal of Geophysical Research*, 112 (D09115). DOI: <https://doi.org/10.1029/2006JD007764>

López, R., Ríó, V. (2018). High Temporal Resolution Refractivity Retrieval from Radar Phase Measurements. *Remote Sensing*, 10 (6), 896. DOI: <https://doi.org/10.3390/rs10060896>

Lowry, A. R., Rocken, C., Sokolovskiy, S. V., Anderson, K. D. (2002). Vertical Profiling of Atmospheric Refractivity from Ground-Based GPS. *Radio Science*, 37 (3). DOI: <https://doi.org/10.1029/2000RS002565>

Luers, J. K., Eskridge, R. E. (1998). Use of Radiosonde Temperature Data in Climate Studies. *Journal of Climate*, 11 (5), 1002–1019. DOI: [https://doi.org/10.1175/1520-0442\(1998\)011<1002:UORTDI>2.0.CO;2](https://doi.org/10.1175/1520-0442(1998)011<1002:UORTDI>2.0.CO;2)

Phinney, R. A., Anderson, D. L. (1968). On the Radio Occultation Method for Studying Planetary Atmospheres. *Journal of Geophysical Research*, 73 (5), 1819–1927. DOI: <https://doi.org/10.1029/ja073i005p01819>

Poli, P., Joiner, J., Kursinski, E. R. (2002). 1DVAR Analysis of Temperature and Humidity Using GPS Radio Occultation Refractivity Data. *Journal of Geophysical Research*, 107, 4448. DOI: <https://doi.org/10.1029/2001JD000935>

Poli, P., Moll, P., Puech, D., Rabier, F., Healy, S. B. (2009). Quality Control, Error Analysis, and Impact Assessment of FORMOSAT-3/COSMIC in Numerical Weather Prediction. *Terrestrial Atmospheric & Oceanic Sciences*, 20(1), 101–113. DOI: [https://doi.org/10.3319/TAO.2008.01.21.02\(F3C\)](https://doi.org/10.3319/TAO.2008.01.21.02(F3C))

Rocken, C., Anthes, R., Exner, M., Hunt, D., Sokolovskiy, S., Ware, R., Gorbunov, M., Schreiner, W., Feng, D., Herman, B., Kuo, Y. H., Zou, X. (1997). Analysis and Validation of GPS/MET Data in the Neutral Atmosphere. *Journal of Geophysical Research*, 102 (D25), 29849–29866. DOI: <https://doi.org/10.1029/97jd02400>

Rocken, C., Kuo, Y. H., Schreiner, W., Hunt, D., Sokolovskiy, S., McCormick, C. (2000). COSMIC System Description. *Terrestrial Atmospheric & Oceanic Sciences*, 11(1), 21–52. DOI: [https://doi.org/10.3319/TAO.2000.11.1.21\(COSMIC\)](https://doi.org/10.3319/TAO.2000.11.1.21(COSMIC))

Schreiner, W., Rocken, C., Sokolovskiy, S., Syndergaard, S., Hunt, D. C. (2007). Estimates of the Precision of GPS Radio Occultations from the COSMIC/FORMOSAT-3 Mission. *Geophysical Research Letters*, 34 (4). DOI: <https://doi.org/10.1029/2006GL027557>

Schreiner, W. S., Weiss, J. P., Anthes, R. A., Braun, J., Chu, V., Fong, J., Hunt, D., Kuo, Y. H., Meehan, T., Serafino, W., Sjöberg, J., Sokolovskiy, S., Talaat, E., Wee, T. K., Zeng, Z. (2020). COSMIC-2 radio occultation constellation: First results. *Geophysical Research Letters*, 47, e2019GL086841. DOI: <https://doi.org/10.1029/2019GL086841>

Smith, E. K., Weintraub, S. (1953). The Constants in the Equation for Atmospheric Refractive Index at Radio Frequencies. *Proceedings of the IRE*, 41, 1035–1037. DOI: <https://doi.org/10.1109/jrproc.1953.274297>

Sokolovskiy, S. (2003). Effect of Superrefraction on Inversions of Radio Occultation Signals in the Lower Troposphere. *Radio Science*, 38 (3). DOI: <https://doi.org/10.1029/2002rs002728>

Staten, P. W., Reichler, T. (2009). Apparent precision of GPS radio occultation temperatures. *Geophysical Research Letters*, 36, L24806. DOI: <https://doi.org/10.1029/2009GL041046>

Sun, B., Reale, A., Seidel, D. J., Hunt, D. C. (2010). Comparing radiosonde and COSMIC atmospheric profile data to quantify differences among radiosonde types and the effects of imperfect collocation on comparison statistics. *Journal of Geophysical Research*, 115, D23104. DOI: <https://doi.org/10.1029/2010JD014457>

- Tang, W. L., Cha, H., Wei, M., Tian, B., Ren, X. C. (2019). An Atmospheric Refractivity Inversion Method Based on Deep Learning. *Results in Physics*, 12, 582–584. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.rinp.2018.12.014>
- Wang, J., Carlson, D. J., Parsons, D. B., Hock, T. F., Lauritsen, D., Cole, H. L., Beierle, K., Chamberlain, E. (2003). Performance of Operational Radiosonde Humidity Sensors in Direct Comparison with a Chilled Mirror Dew-Point Hygrometer and Its Climate Implication. *Geophysical Research Letters*, 30 (16), DOI: <https://doi.org/10.1029/2003gl016985>
- Wang, J. H., Zhang, L. Y., Dai, A. G. (2005). Global Estimates of Water-Vapor-Weighted Mean Temperature of the Atmosphere for GPS Applications. *Journal of Geophysical Research*, 110, D21101, DOI: <https://doi.org/10.1029/2005JD006215>
- Wang, B. R., Liu, X. Y., Wang, J. K. (2013). Assessment of COSMIC radio occultation retrieval product using global radiosonde data. *Atmospheric Measurement Techniques*, 6, 1073–1083. DOI: <https://doi.org/10.5194/amt-6-1073/2013>
- Ware, R., Exner, M., Feng, D., Gorbunov, M., Hardy, K., Herman, B., Kuo, Y., Meehan, T., Melbourne, W., Rocken, C., Schreiner, W., Sokolovskiy, S., Solheim, F., Zou, X., Anthes, R., Businger, S., Trenberth, K. (1996). GPS Sounding of the Atmosphere from Low Earth Orbit: Preliminary Results. *Bulletin of the American Meteorological Society*, 77 (1), 19–40. DOI: [https://doi.org/10.1175/1520-0477\(1996\)077<0019:GSOTAF>2.0.CO;2](https://doi.org/10.1175/1520-0477(1996)077<0019:GSOTAF>2.0.CO;2)
- Wee, T. K., Kuo, Y. H. D., Bromwich, H., Monaghan, A. J. (2008). Assimilation of GPS Radio Occultation Refractivity Data from CHAMP and SAC-C Missions over High Southern Latitudes with MM5 4DVAR. *Monthly Weather Review*, 136, 2923–2944. DOI: <https://doi.org/10.1175/2007mwr1925.1>
- Wickert, J., Reigber, C., Beyerle, G., König, R., Marquardt, C., Schmidt, T., Grunwaldt, L., Galas, R., Meehan, T., Melbourne, W. G., Hocke, K. (2001). Atmosphere Sounding by GPS Radio Occultation: First Results from CHAMP. *Geophysical Research Letters*, 28, 3263–3266. DOI: <https://doi.org/10.1029/2001gl013117>
- Xu, X., Luo, J., Shi, C. (2009). Comparison of COSMIC Radio Occultation Refractivity Profiles with Radiosonde Measurements. *Advances in Atmospheric Sciences*, 26 (6), 1137–1145. DOI: <https://doi.org/10.1007/s00376-009-8066-y>



Gong S., Zhang C., Tang G., Zhang Y., J. Han (2020). Global analysis of atmospheric refractivity profiles from COSMIC GPS radio occultation soundings. *Geodetski vestnik*, 64 (2), 227–240.
DOI: <https://doi.org/10.15292/geodetski-vestnik.2020.02.227-240>

Shaoqi Gong

*School of Remote Sensing and Geomatics Engineering,
Nanjing University of Information Science & Technology,
Nanjing, 210044, China
(Key Laboratory of South China Sea Meteorological Disaster
Prevention and Mitigation of Hainan Province, Sanya, 570203,
China; National Climate Center, China Meteorological Admini-
stration, Beijing, 100081, China)
e-mail: shaoqigong@163.com*

Cunjie Zhang*

*National Climate Center, China Meteorological Administration,
Beijing, 100081, China
(and Key laboratory for Cloud Physics of China Meteorological
Administration, Beijing, 100081, China)
e-mail: zhangcj@cma.gov.cn*

Geshi Tang*

*School of Remote Sensing and Geomatics Engineering,
Nanjing University of Information Science & Technology,
Nanjing, 210044, China
e-mail: tanggeshi@nuist.edu.cn*

Yehui Zhang

*School of Hydrology and Water Resources,
Nanjing University of Information Science & Technology,
Nanjing, 210044, China
e-mail: zhangyehui@nuist.edu.cn*

Jing Han

*Key Laboratory of South China Sea Meteorological Disaster
Prevention and Mitigation of Hainan Province,
Sanya, 570203, China
e-mail: hanjing8361@163.com*

* Corresponding author

TEKMOVANJE BARV V VEKTORSKIH KARTICAH

COMPETITION OF COLOURS IN VECTOR CARDS

Joc Triglav

1 UVOD

Karte vektorjev kot kartice zaupanja so bile podrobneje predstavljene v prejšnji številki Geodetskega vestnika (Triglav, 2020). Tekmovanje barv iz naslova pa poteka od začetka leta 2008, ko smo pri zemljiškokatastrskih točkah (v nadaljevanju ZK-točke) v zemljiškem katastru začeli poleg D48/GK-koordinat evidentirati tudi D96/TM-koordinate in s tem spremljati vektorje transformacijskih koordinatnih odstopanj. V naslednjih letih smo večkrat preverili vmesne rezultate ,tekmovanja‘ ter si s ciljnim ukrepi GURS-ovega urada za geodezijo načrtno in sistematično prizadevali, da bi bili ti vektorji čim manjši. Tako smo iz vsedravnega odseka afine trikotniške transformacije 3.0 z množico terenskih meritev prišli do izboljšane in terensko bistveno zanesljivejše ,pripete‘ trenutne različice 4.0.

V kontekstu tega članka in slik v njem tekmovalje barv pomeni, da smo se z vsemi močmi, ki smo jih objektivno imeli na voljo, zavzemali, da bi bila močan številčni zmagovalca tekmovalja ,modra‘ ekipa vektorjev, navijali smo tudi za ,zeleno‘ ekipo, medtem ko smo si za ekipe vektorjev drugih ,barv‘ želeli predvsem, da bi nam z dobrim geodetskim strokovnim delom uspelo čim bolj zmanjšati število vektorjev v njih in da bi bili tudi čim manjši.

2 TEKMOVANJE ...

V tem prispevku so zato s stanjem koordinat ZK-točk ob prehodu v novi koordinatni sistem D96/TM kot primer z nekaj diagrami na kratko podani zbirni rezultati po numerični in grafični obdelavi podatkov ZK-točk za vse katastrske občine (v nadaljevanju k. o.) na območju geodetske pisarne Murska Sobota. Rezultati izračuna in razvrstitve vektorjev po kategorijah velikosti so zbrani v skupni preglednici za vse katastrske občine (slika 1). Vir podatkov za preglednico so izračuni programov GeoPro 3.0 in Vektorji. Podatki, zbrani v preglednici, pa so potem vir za izdelavo zbirnih diagramov, ki so prikazani v nadaljevanju.

Krožni diagram razvrstitve vektorjev koordinatnih odstopanj ZK-točk v velikostne razrede (slika 2) je izdelan iz podatkov od četrtega do osmega stolpca v zadnji vrstici preglednice na sliki 1.

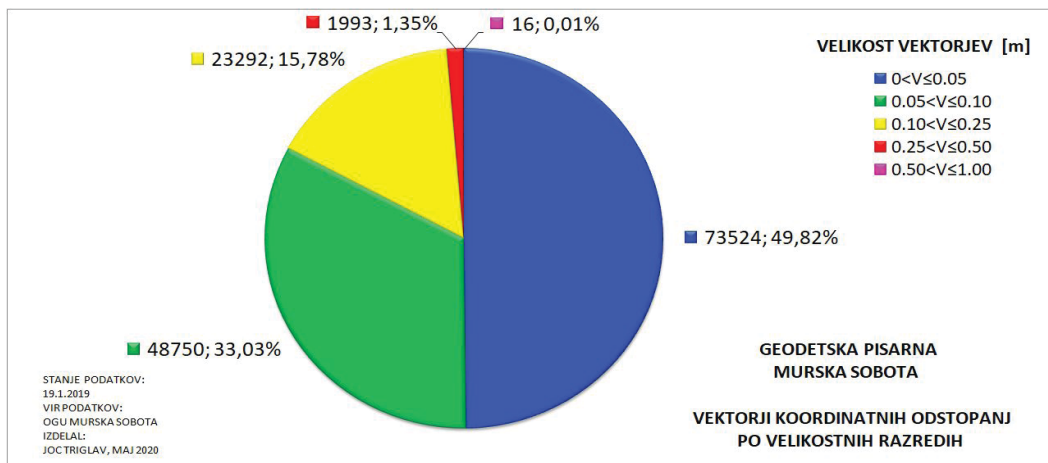
Zbirni palični diagram za prikaz relativnega razmerja med ZK-točkami brez vektorjev in ZK-točkami z vektorji za posamične k. o. (slika 3) je izdelan iz podatkov tretjega stolpca ter vsote podatkov od četrtega do osmega stolpca preglednice za vsako k. o.

GP MURSKA SOBOTA - VELIKOSTI VEKTORJEV KOORDINATNIH ODSTOPANJ (E,N) - (GE,GN) PO K.O.
STANJE PO TRANSFORMACIJI ZK TOČK IZ KOORDINATNEGA SISTEMA D48/GK V D96/TM

Šifra k.o.	Ime k.o.	Število ZK točk po posameznih kategorijah velikosti vektorjev v metrih										Σ
		V=0	0<V≤0,05	0,05<V≤0,10	0,10<V≤0,25	0,25<V≤0,50	0,50<V≤1,00	1,00<V≤2,00	2,00<V≤5,00	5,00<V≤10,00	V>10,00	
0122	TIŠINA	3844	706	114	35	0	0	0	0	0	0	4699
0123	TROPOVCI	4466	490	158	62	3	0	0	0	0	0	5179
0124	GRADIŠČE	4097	782	1124	94	3	0	0	0	0	0	6100
0125	MURSKI ČRNCI	4025	1125	1214	58	1	0	0	0	0	0	6423
0126	SATAHOVCI	6126	478	331	48	0	0	0	0	0	0	6983
0127	KROG	10082	2896	1301	168	4	0	0	0	0	0	14451
0128	BAKOVCI	10794	1777	2748	673	24	0	0	0	0	0	16016
0129	GANČANI	16008	2576	425	50	56	0	0	0	0	0	19115
0130	LIPA	7752	541	165	40	19	0	0	0	0	0	8517
0131	BELTINCI	19905	2632	208	101	95	0	0	0	0	0	22941
0132	BRATONCI	7558	1135	100	12	1	0	0	0	0	0	8806
0133	LIPOVCI	12379	1263	206	31	1	0	0	0	0	0	13880
0134	DOKLEŽOVJE	9513	1709	73	26	1	0	0	0	0	0	11322
0135	IŽAKOVCI	14736	1521	162	22	0	0	0	0	0	0	16441
0136	MELINCI	13263	567	328	70	5	0	0	0	0	0	14233
SKUPAJ ZK TOČK		1270686	73524	48750	23292	1993	16	0	0	0	0	1418261

Slika 1: Izsek iz zaključnega dela preglednice razvrstitve vektorjev koordinatnih odstopanj po kategorijah velikosti v posameznih k. o. v zadnji vrstici preglednice je navedeno skupno število ZK-točk na območju geodetske pisarne Murska Sobota (OGU Murska Sobota, 2020).

Zbirni palični diagram relativnih razmerij med velikostnimi razredi vektorjev koordinatnih razlik za posamične k. o. (slika 4) je izdelan iz podatkov od četrtega do osmega stolpca preglednice za vsako k. o.



Slika 2: Krožni diagram razvrstitve vektorjev koordinatnih odstopanj ZK-točk v vseh katastrskih občinah geodetske pisarne Murska Sobota po velikostnih razredih (OGU Murska Sobota, 2020).

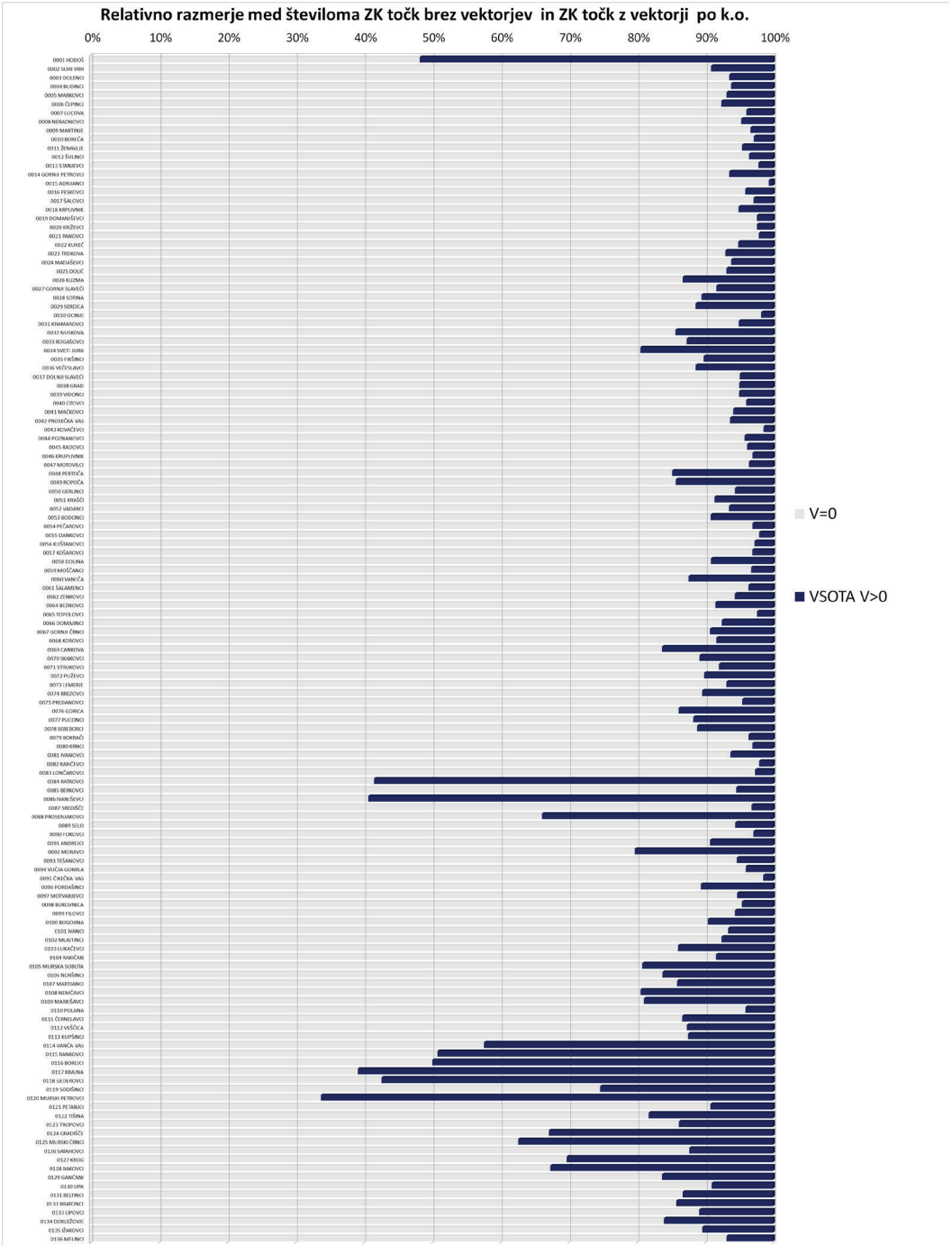
Kratki komentarji k rezultatom razvrstitve ZK-točk z (neničelnimi) vektorji na sliki 2 so:

- 73.524 ali približno polovica teh ZK-točk ima vektorje, velike do 5 centimetrov – s temi smo zelo zadovoljni,

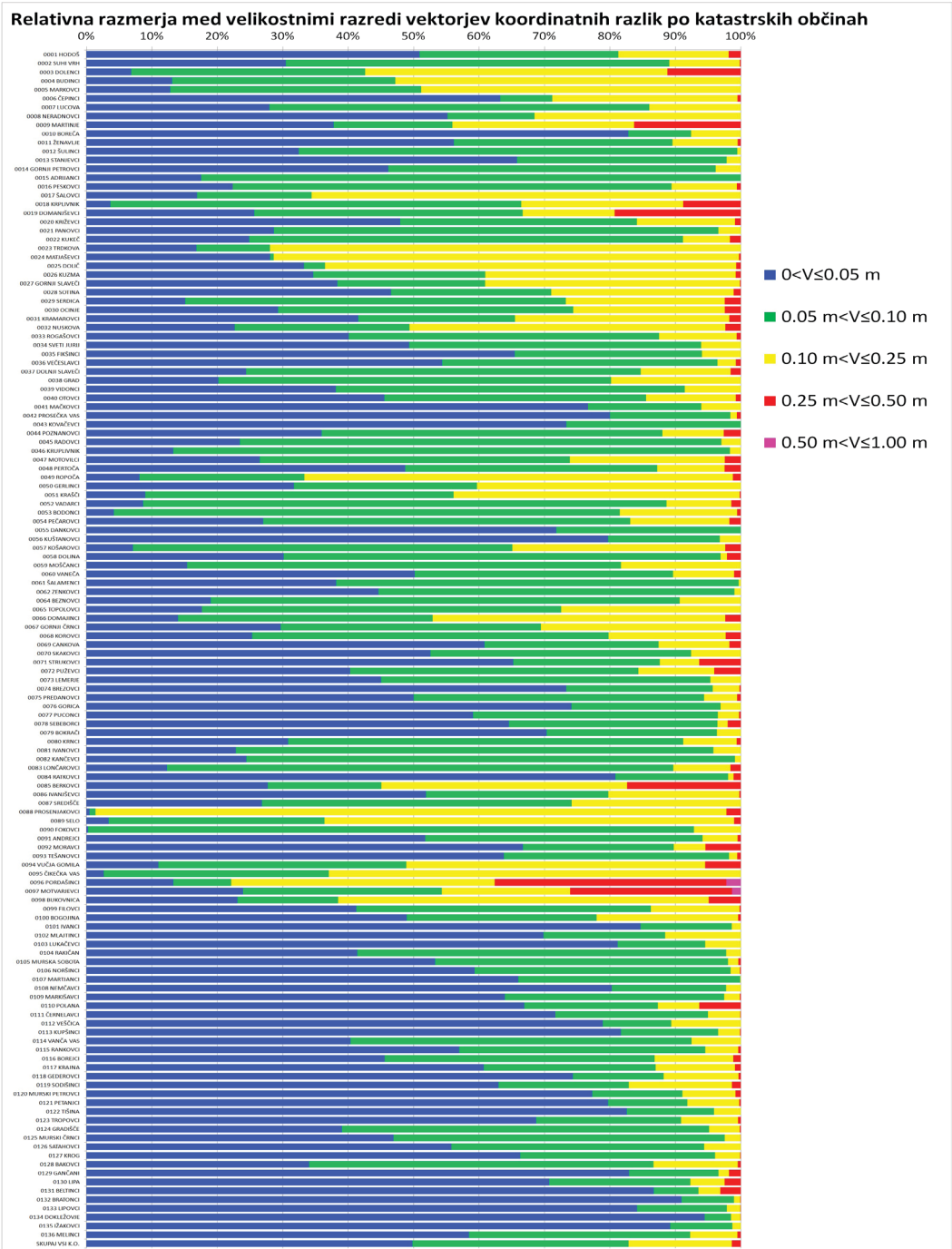
- 48.750 ali približno tretjina teh ZK-točk ima vektorje, velike med 5 in 10 centimetri – s temi smo še zadovoljni,
- 23.292 ali slaba šestina teh ZK-točk ima vektorje, velike med 10 in 25 centimetri – s temi smo le pogojno zadovoljni in smo pri delu z njimi dodatno zelo skrbni,
- 1993 ali približno sedemdesetina teh ZK-točk ima vektorje, velike med 25 in 50 centimetri – s temi nismo zadovoljni in smo pri delu z njimi izredno pozorni,
- 16 ali približno desetisočina teh ZK-točk ima vektorje, velike med 50 centimetri in 1 metrom – ti primeri bodo zahtevali posebno obravnavo za odpravo,
- ZK-točk z vektorji, večjimi od 1 m, ni – tak rezultat je pričakovan, potrditev pričakovanj pa pomirjujoča.

Pomemben podatek, ki nam grafično relativno ponazori število ZK-točk z vektorji, je pregled relativnih razmerij med številoma ZK-točk brez vektorjev in ZK-točk z vektorji po posameznih katastrskih občinah (slika 3).

Podrobnejšo sliko razmerij med velikostnimi razredi po posameznih k. o. dobimo, če število vektorjev po posameznih velikostnih razredih prikažemo v zbirnem paličnem diagramu (slika 4).



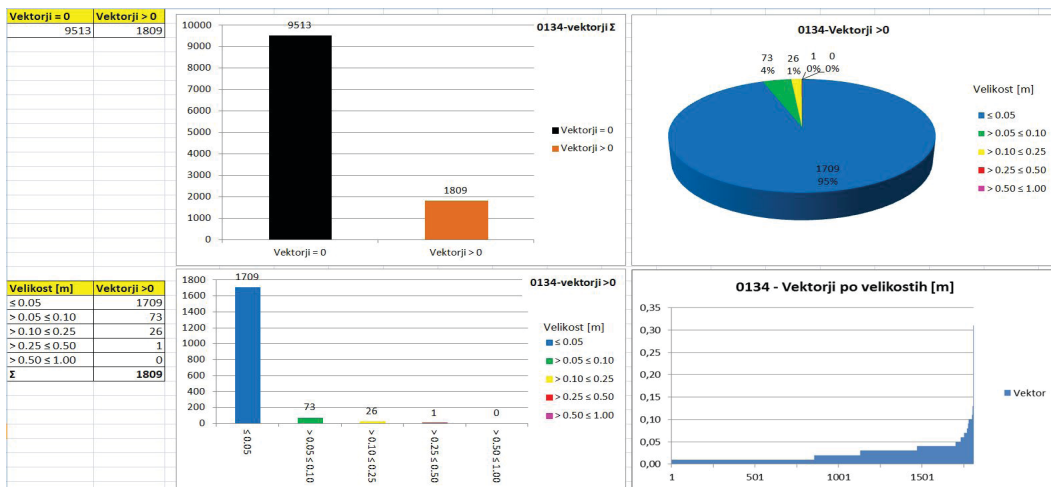
Slika 3: Pregled relativnih razmerij med številoma ZK-točk brez vektorjev in ZK-točk z vektorji po posameznih katastrskih občinah. Za katastrske občine z občutno daljšimi modrimi stolpci je ključno, da so bile tam med letoma 2008 in 2019 evidentirane komasacije z velikim številom ZK-točk (OGU Murska Sobota, 2020).



Slika 4: Pregled relativnih razmerij med velikostnimi razredi vektorjev koordinatnih razlik po posameznih k. o. Skupno število vektorjev je za vsako posamezno k. o. seveda različno (OGU Murska Sobota, 2020).

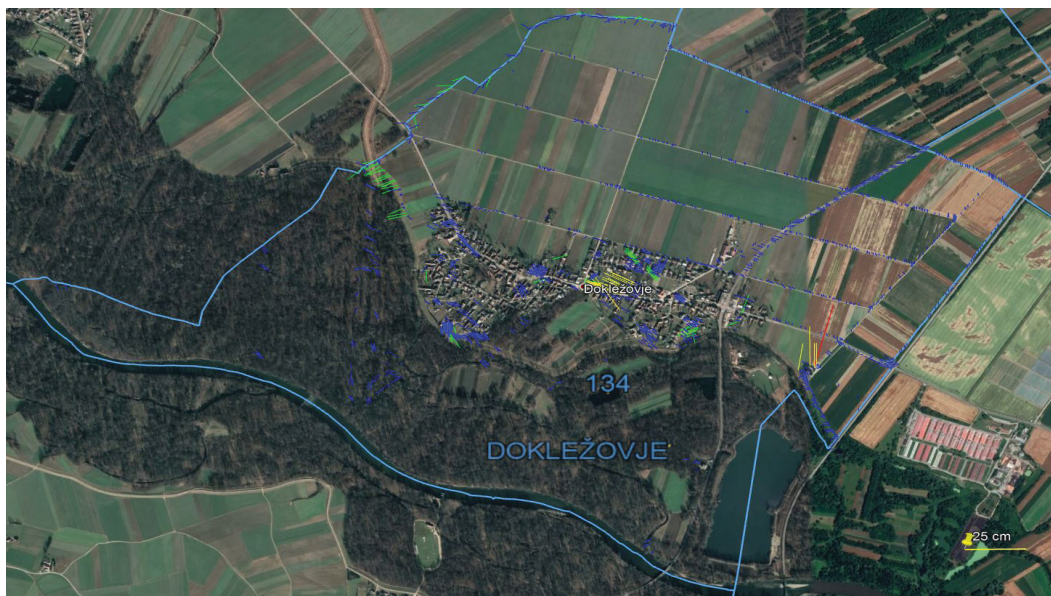
3 ... IN ZMAGOVALEC JE ...

... k. o. 134 Dokležovje! Kriterijev in parametrov razvrščanja je sicer več, a je bil uporabljeni kriterij razvrstitve delež modrih vektorjev glede na deleže ostalih velikostnih razredov vektorjev v posamezni k. o. Tesno za zmagovalcem sta sosednji k. o. 132 Bratonci na drugem mestu in k. o. 135 Ižakovci na tretjem mestu. Za vizualno ponazoritev rezultatov zmagovalca je na sliki 5 prikaz numeričnega dela vsebine vektorske kartice za k. o. 134 Dokležovje.



Slika 5: Primer prikaza stanja vektorjev koordinatnih odstopanj po velikosti in velikostnih razredih z različnimi grafikoni. V prikazu so podatki za k. o. 134 Dokležovje (OGU Murska Sobota, 2020).

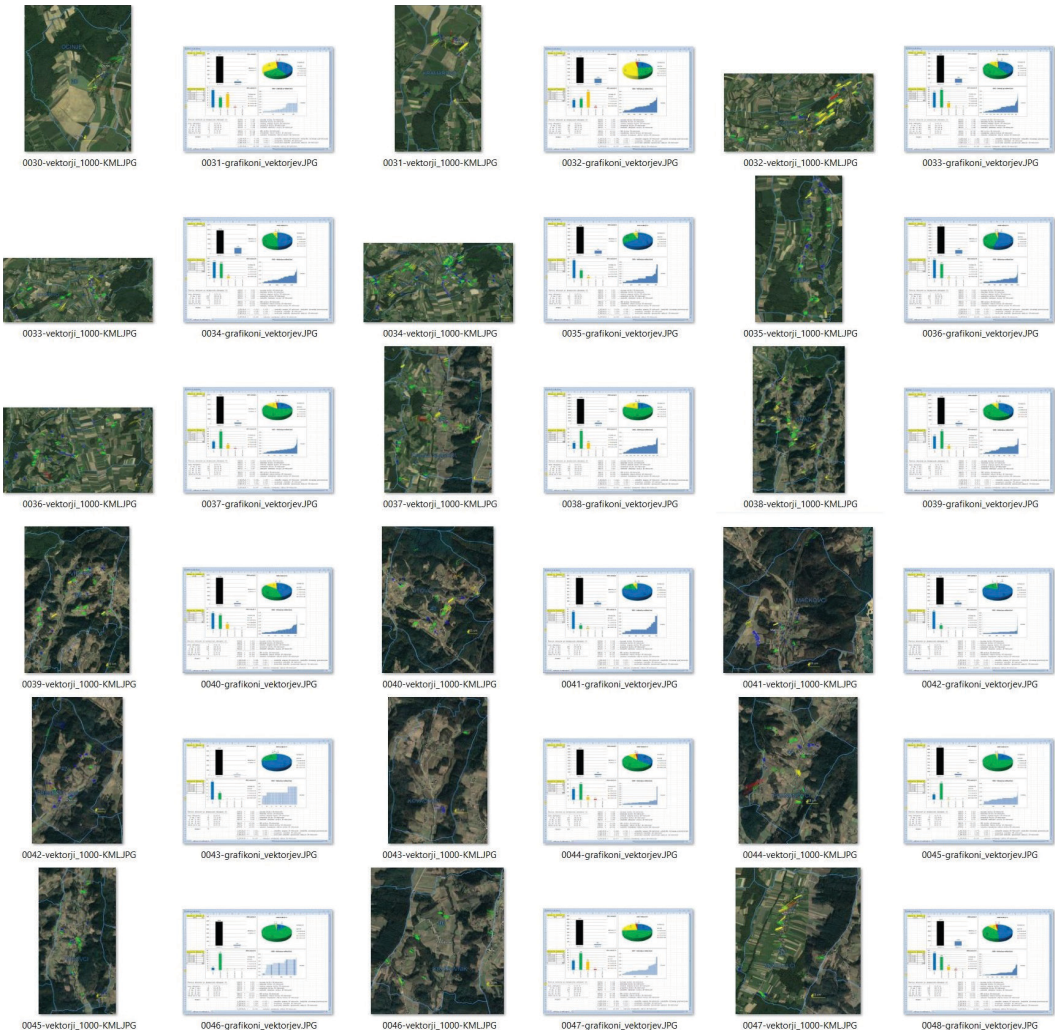
Na sliki 6 je prikaz grafičnega dela vsebine vektorske kartice za k. o. 134 Dokležovje.



Slika 6: Primer grafičnega prikaza vektorjev koordinatnih odstopanj po velikostnih razredih v programskem orodju Google Earth. Barve vektorjev ustrezajo barvam velikostnih razredov na sliki 5. V prikazu so podatki za k. o. 134 Dokležovje (OGU Murska Sobota, 2020).

4 SKLEP

Takšne kartice so izdelane za vse k. o. na območju geodetske pisarne Murska Sobota. Vsaka k. o. nam s svojimi grafikoni in kartografskim prikazom vektorjev (slika 7) pripoveduje svojo zgodbo, ki pa ne opisuje le preteklosti, ampak nam podaja tudi koristne informacije za prihodnje kakovostno delo geodetov – seveda ob pogoju, da bomo grafikone in kartografske prikaze sploh pogledali ter zbrane informacije upoštevali pri delu. Z namenom in ciljem, da bodo te informacije dostopne vsem geodetom, bodo vsebinsko in oblikovno poenotene grafike in opisi zapisani v arhivske pdf-datoteke in trajno shranjeni v digitalni arhiv zemljiškega katastra.



Slika 7: Izsek iz dela grafikonov in kartografskih prikazov vektorjev koordinatnih odstopanj ZK-točk, ki so bili izdelani za vseh 135 k. o. na območju geodetske pisarne Murska Sobota. Vsaka slika vsake k. o. nam geodetom pripoveduje svojo zgodbo iz preteklosti za prihodnost (OGU Murska Sobota, 2020).

Vnos arhivskih pdf-datotek v digitalni arhiv bo ob objavi tega članka predvidoma že izveden. Podatki bodo geodetom potem kot zelo koristna in konkretna informacija za kakovostno praktično delo vedno

Literatura in viri:

OGU Murska Sobota (2020). Obdelava koordinatnih podatkov ZK-točk v programskih orodjih GeoPro 3.0 in Vektorji. Območna geodetska uprava Murska Sobota.

Triglav, J. (2020). Kartica vektorjev kot kartica zaupanja. Geodetski vestnik, 64 (1), 105–113. http://www.geodetski-vestnik.com/64/1/gv64-1_triglav.pdf, pridobljeno 25. 5. 2020.

dr. Joc Triglav, univ. dipl. inž. geod.
Območna geodetska uprava Murska Sobota
Murska Sobota, Lendavska ulica 18, SI-9000 Murska Sobota
e-naslov: joc.triglav@gov.si

DELNA AVTOMATIZACIJA BRISANJA PORUŠENIH STAVB

PARTIAL AUTOMATION OF LEVELLED BUILDINGS ERASURE

Andreja Švab Lenarčič, Joc Triglav

1 UVOD

Na Geodetskem inštitutu Slovenije za Geodetsko upravo RS vsako leto izvedejo avtomatsko identifikacijo stavb (AIS). Identifikacija temelji na analizi vsakokratnih podatkov zadnjega cikličnega aerosnemanja in snemanja lidar. Leta 2017 je bila AIS izvedena tudi za območje OGU Murska Sobota. Statistično so rezultati te analize že bili prikazani v Geodetskem vestniku (Triglav, 2018). V navedenem članku je avtor opozoril predvsem na veliko količino stavb, ki potrebujejo popravek (nove, spremenjene ali porušene stavbe), nizko razpoložljivost kadra in časa ter uporabo »rokomatike« ob hkratnem obstoju primernih algoritmov umetne inteligence.

Ker se bo na enakem območju letos izvedla nova analiza AIS na DOF5 2019, smo se na OGU Murska Sobota odločili, da vsaj delno avtomatiziramo, sistematiziramo in organiziramo postopke urejanja evidenc porušениh stavb, s ciljem brisanja čim večjega števila porušениh stavb, evidentiranih v AIS 2017.

V razpravi opisujemo metode dela, rezultate in način brisanja stavb.

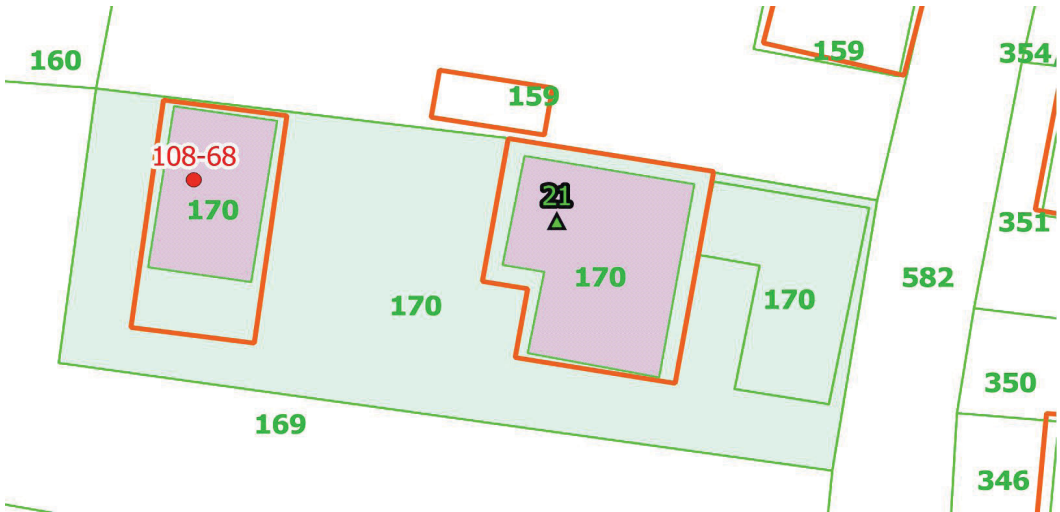
2 PROSTORSKA ANALIZA

Prostorsko analizo smo izvedli v programu QGIS. Uporabili smo naslednje prostorske podatke:

- zemljiškokatastrski prikaz (ZKP), grafične in opisne podatke zemljiškega katastra;
- kataster stavb (KS), grafične in opisne podatke slojev tloris in centroide;
- točke, identificirane kot ‚porušena stavba‘, v okviru projekta Avtomatska identifikacija stavb (AIS);
- register prostorskih enot, hišne številke (HŠ);
- register nepremičnin, stavbe (REN);
- digitalni ortofoto 5 (DOF5), stanje 2019.

Podatke AIS smo prevzeli z namenskega zavihka na intranetni strani geodetske uprave. Vse druge podatke smo prenesli s spletne strani eGeodetski podatki na portalu Prostor (eGP, 2020). Za prikaz sloja DOF5 smo uporabili spletni servis WMS. Primer hkratnega prikaza slojev je prikazan na sliki 1.

Izvajali smo klasične prostorske analize, kot so: izbor glede na lokacijo, izbor poligonov pod točkami, število točk znotraj poligona, združevanje atributov (glede na lokacijo) idr.



Slika 1: Sloji za analizo v QGIS: točke AIS porušениh stavb (rdeča), ZKP (zelena), KS (oranžna) in HŠ (zeleni trikotnik s hišno številko). Z zeleno so ploskovno obarvani parcelni deli, ki pripadajo isti parceli. Vijolično so dodatno ploskovno obarvani parcelni deli, ki ležijo pod obrisi stavb iz KS.

Prvi rezultat analize je bila preglednica, namenjena sodelavcem za sistematični pregled stanja podatkov v povezanih evidencah za parcelo z označeno brisano stavbo (primer v preglednici 1). Iz preglednice so enostavno razvidne zbrane informacije, ki so za izvedbo naloge najbolj potrebne. Preglednica je bila v celoti izdelana s samodejnim postopkom v QGIS, končno oblikovanje smo izvedli v programu Excel.

V preglednico smo vključili:

- podatke o parcelnem delu (iz ZKP) za vsak del parcele, ki leži pod točko AIS: šifra k. o., šifra in ime vrste rabe, površina, številka parcele in številka stavbe;
- podatke o točki AIS: šifra k. o. in številka stavbe; če parcelni del vsebuje točko AIS, je atribut ničelna vrednost;
- podatke iz katastra stavb (KS): številka stavbe na posameznem parcelnem delu;
- podatke o hišni številki (iz RPE), če jo parcelni del ima;
- podatke o letu izgradnje stavbe (iz REN).

Preglednice smo naredili ločeno za vsako k. o. v OGU MS.

Preglednica 1: Izsek končne preglednice za parcelo, ki je grafično prikazana na sliki 1. Navedeni so vsi deli parcele, na kateri je točka AIS (porušena stavba). Za posamezen parcelni del so zapisani atributi iz različnih baz podatkov. Iz ZKP: šifra k. o., šifra in ime vrste rabe, površina, številka parcele in številka stavbe. Iz AIS: šifra k. o. in številka stavbe. Iz katastra stavb: številka stavbe. Iz Registra prostorskih enot: hišna številka. Iz REN: leto izgradnje.

ZKP						AIS	KS	HŠ	REN
SIFKO	SIVRAB	IMEVRAB	POVRSINA	PARCELA	STA_STEV	KO-STST	STST	HŠ	LETO
108	201	STANOVANJSKA STAVBA	122	170	0				
108	221	ZPS PRED 2006	87	170	68	108-68	68		1990
108	221	ZPS PRED 2006	152	170	69		69	21	1987
108	211	DVORIŠČE	718	170	0				

Za hitrejše delo pri odpiranju zahtev v delovodniku Devo smo za vsako k. o. pripravili pkv-datoteko vseh parcel, na katerih ležijo točke AIS. Pkv-datoteka je vsebovala le začetna podatka: šifro k. o. ter številko parcele, saj zadostujeta za hitro označevanje parcel v delovodniku.

3 PRIPRAVA DOKUMENTOV S SLIKAMI STAVB

Pred brisanjem smo želeli za vsako stavbo na seznamu izdelati dokument, ki bi zajemal:

- osnovne podatke o stavbi: šifra k. o. in številka stavbe;
- grafični prikaz slojev DOF5, ZKP, HŠ, tlorise stavb ter lokacijo in številko stavbe za brisanje;
- datum in vir podatkov ter
- ime datoteke.

Slike lokacij stavb, predvidenih za brisanje, po podatkih AIS 2017

KO: 15

ST. ST.: 59

SID: 23219699



Vir podatkov:
Geodetska uprava Republike Slovenije
AIS 2017

Datum: 2020-02-26

Ime datoteke: porusena_15-59.jpg

Slika 2: Primer vsebine dokumenta za eno stavbo, predvideno za brisanje. Na sliki so prikazani: ZKP (zeleno), tlorisi katastra stavb (oranžno), hišne številke (zeleni trikotnik) ter šifra k. o. in številka stavbe, ki je bila v postopku AIS določena kot stavba za brisanje (rdeča pika). Za lažjo predstavo o stanju na terenu je za osnovo uporabljen sloj DOF5, stanje 2019.

Takšen dokument bi bil namenjen za pregled stanja porušenih stavb in kasnejše digitalno združevanje v arhivsko pdf-datoteko za posamezno k. o. kot digitalni arhiv k posameznim postopkom brisanja stavb.

Dokumenti so bili izdelani s samodejnim postopkom, z uporabo Urejevalnika tiskovin in orodja Ustvarjanje atlasa zemljevidov (angl. Atlas generation) v programu QGIS. V imena datotek smo za njihovo lažje iskanje zapisali šifro k. o. ter številko stavbe.

Rezultat izdelave slikovnih dokumentov je bilo 1867 jpg-datotek za območje OGU Murska Sobota – za vsako stavbo, predvideno za brisanje, po ena datoteka. Primer vsebine ene slikovne datoteke je prikazan na sliki 2.

4 RAZVRŠČANJE PO PRIORITETAH



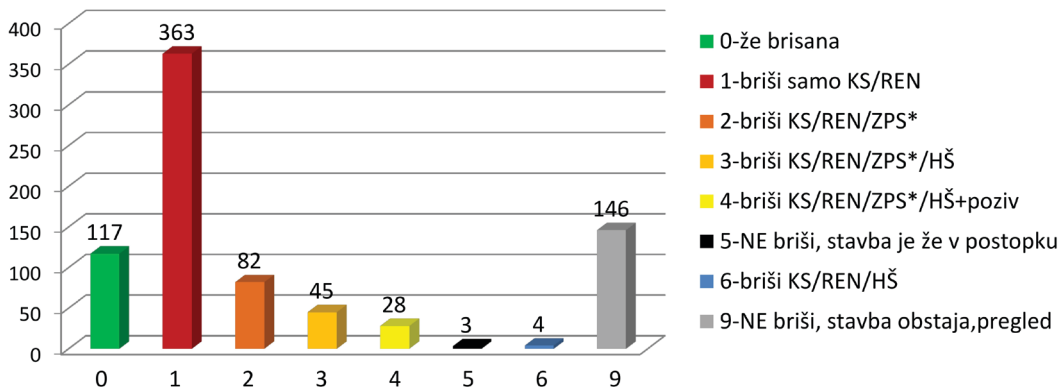
Slika 3: Grafični primeri stavb s posameznimi prioritetami.

Zastavili smo si, da bomo nalogo brisanja stavb izvajali po prioritetah. Slednje smo določili glede na postopke, ki jih je treba opraviti, glede na evidence, v katerih je treba zaradi izbrisa stavbe kaj spremeniti. Določili smo osem prioritet:

- *P0: stavba je že brisana v predhodnih postopkih* (točka AIS nima več tlorisa stavbe),
- *P1: briši samo KS/REN* (točka AIS ima tloris stavbe, nima ZPS*, nima HŠ),
- *P2: briši KS/REN/ZPS** (točka AIS ima tloris stavbe, ima ZPS*, nima HŠ),
- *P3: briši KS/REN/ZPS*/HŠ* (točka AIS ima tloris stavbe, ima ZPS*, ima HŠ),
- *P4: briši KS/REN/ZPS*/HŠ+poziv* (točka AIS ima neustrezen tloris stavbe, ima ZPS*, ima HŠ),
- *P5: NE briši, stavba je že v postopku,*
- *P6: briši KS/REN/HŠ* (točka AIS nima tlorisa stavbe, ima pa HŠ),
- *P9: NE briši, stavba obstaja, pregled.*

Primeri posameznih prioritet so prikazani na sliki 3.

Dokumente s slikami stavb smo za stavbe na območju Geodetske pisarne Murska Sobota v posamezne prioritete razvrščali na dva načina: ročno in samodejno. Osnova za nadaljnje delo je bilo ročno razvrščanje. Pri tem postopku smo vsak dokument pogledali, v vpogledovalniku PREG preverili, ali je ujemajoča parcela pod tlorisom stavbe ZPS oziroma ZPS*, preverili, ali je parcela/stavba morebiti že v aktivnem postopku, ter ga uvrstili v mapo z ustrežno prioriteto. Statistika ročnega razvrščanja je prikazana na sliki 4.



Slika 4: Statistika ročnega razvrščanja stavb, predvidenih za brisanje, v posamezne prioritete.

Od vseh stavb AIS, ki so bile uvrščene med stavbe za brisanje, jih je bilo 15 % pred nalogo sistematičnega brisanja že brisanih v predhodnih postopkih. Analiza AIS je bila namreč izvedena leta 2017 na DOF5 2016, naša naloga brisanja stavb pa je bila izvedena februarja 2020 na DOF5 2019. 46 % stavb, ki so porušene, ima zgolj tloris, s čimer je postopek brisanja kratek. Na 21 % stavb za brisanje je bodisi vezano zemljišče pod stavbo bodisi hišna številka, nekajkrat oboje. Postopek brisanja teh stavb zahteva tudi izbris povezanih podatkov v drugih evidencah (razloženo v nadaljevanju). Ne malo, 19 %, je stavb, ki na terenu obstajajo in jih zato ne smemo brisati. Podrobnejši pregled je pokazal, da to praviloma niso stavbe, ki bi bile v projektu AIS napačno identificirane kot porušene, ampak je bila na lokacijah, kjer so bile leta 2016 porušene stavbe, v zadnjih treh letih zgrajena nova stavba, pogosto s tlorisom, podobnim porušeni.

Avtomatsko razvrščanje smo izvedli, ker smo želeli testirati učinkovitost tega postopka v primerjavi z ročnim razvrščanjem. Pri postopku smo upoštevali enake kriterije prioritet kot pri ročnem razvrščanju, na primer: točka AIS ima tloris stavbe, ima ZPS* in nima hišne številke. Ker je razvrščanje temeljilo zgolj na GIS-analizah, z uporabljenimi metodologijami dokumentov nismo mogli razvrstiti v tri od osmih prioritet, in sicer:

- P4: *briši KS/REN/ZPS*/HŠ+poziv* (nismo preverjali velikosti parcele ZPS* v primerjavi z velikostjo tlorisa stavbe; v P4 bi lahko premestili posamezne datoteke P3),
- P5: *NE briši, stavba je že v postopku* (nismo izvedli avtomatskega izpisa stavb v aktivnih postopkih; v P5 lahko spadajo dokumenti katerekoli druge prioritete),
- P9: *NE briši, stavba obstaja, pregled* (obstoj stavbe smo preverjali zgolj vizualno na DOF5; v P9 lahko spadajo dokumenti katerekoli druge prioritete).

Od prioritet, ki smo jih lahko določali samodejno, jih je bilo povprečno 71 % razvrščenih pravilno, 19 % bi jih moralo biti razvrščenih v P9 (stavba obstaja, tega pri analizi nismo mogli predvideti), 4 % pa v razreda P4 ali P5 (prav tako nismo določali samodejno). Le 6 % vseh stavb je bilo z avtomatsko metodo razvrščenih v druge prioritete kakor z ročno metodo iz različnih drugih razlogov, kot so: točka AIS pade rahlo zunaj tlorisa KS, ročno je bil razbran ZPS, pa v grafiki ZKP ni ZPS, napačni atributni podatki v grafiki ZKP idr. Vzrok je torej lahko bil tudi napačno ročno razvrščanje. Kljub nekaterim neskladjem ugotavljamo, da je razvrščanje z avtomatsko metodo na podatkih za območje Geodetske pisarne Murska Sobota, kjer je položajno odstopanje med ZKP in KS minimalno, vredno zaupanja. Iz tega razloga se tudi pri delu na območjih drugih geodetskih pisarn OGU Murska Sobota priporoča, da najprej uporabijo avtomatsko razvrščanje, nato pa po potrebi ročno premestijo posamezne datoteke v ustrezno prioriteto. Tako je mogoče končno razvrščanje skrajšati vsaj za polovico časa in dodati kanček objektivnosti.

5 REŠEVANJE – BRISANJE STAVB

Za postopek brisanja stavb smo napisali napotke za delo na podlagi praktičnih izkušenj. V primerih že brisane stavbe (P0), obstoječe stavbe (P9) ali stavbe oziroma parcele pod stavbo, ki je trenutno v postopku (P5), nismo brisali ničesar. V vseh ostalih prioritetenih skupinah na porušeni stavbi obstaja tloris stavbe. Za vse te tlorise smo izvedli skupinski izbris v CB Stavbe, in sicer z eno vlogo za vsako k. o. Za vsako vlogo smo v UDE naredili skupno arhivsko pdf-datoteko za postopek v posamezni k. o. (vse pdf-datoteke slik stavb iz tiste k. o.). Če pod porušeno stavbo obstaja parcela ZPS* (P2, P3 in P4), smo v delovodniku Devo po pripravljenih pkv-datotekah odprli zahteve ,14-odprava neskladij'. V okviru te zahteve vrstice z rabo 221-ZPS* zamenjamo v vrstico z rabo 800-zemljišče. V ta namen je treba izdelati izmenjevalne datoteke TMP.POV, TMP.PKV in TMP.RSP za izbris ZPS* in relacij stavba/parcels. Posebej pozorni glede izbriša smo pri stavbah s katastrskim vpisom in rabo 220-ZPS! Tu se lahko pojavijo posamezni redki primeri, ko je stavba v zemljiškem katastru evidentirana kot 220-ZPS, v katastru stavb pa kot stavba brez katastrskega vpisa, in tudi obratno. V takšnih primerih je treba z vpogledom v digitalni arhiv elaboratov nesporno ugotoviti, ali je stavba 220-ZPS ali ne. Pozorni smo tudi na morebitne podzemne objekte, ki niso vidni na DOF5 in so bili zajeti v AIS iz leta 2017 (zelo redki primeri). Izdelave ovitkov elaboratov, skeniranja, priprava arhiva z UDE potekajo po zaključku vnosov sprememb/brisanja podatkov ZPS* za območje celotne GP.

Če obstaja hišna številka (P3, P4 in P6), dodatno v aplikaciji CRPV pogled preverimo, ali je na njej prijavljeno stalno prebivališče, oziroma pogledamo v Ajpes-ePRS, ali je na naslovu registriran sedež podjetja.

Na tej podlagi bodisi hišno številko brišemo bodisi delamo po ustaljenem protokolu z Upravno enoto Murska Sobota. Če je na naslovu registrirana pravna oseba, to sporočimo Ajpesu na info@ajpes.si in izpostavi v Murski Soboti na info.ms@ajpes.si.

Če je potreben poziv (P4), ga pošljemo lastniku. Opomba: zaradi epidemije koronavirusa COVID-19 do nadaljnjega pozivov ne pošiljamo nikomur.

6 SKLEP

Naloga brisanja porušениh stavb na območju Geodetske pisarne Murska Sobota je bila z organiziranim dobrim sodelovanjem več sodelavk in sodelavcev ter optimalno uporabo njihovih dragocenih specifičnih znanj in praktičnih izkušenj izvedena na nov, svež način, z veliko mero avtomatizacije. Zelo dobrodošli, dejansko ključni za pregledno izvedbo, so bili avtomatsko generirani dokumenti s slikami lokacij brisanih stavb, s katerimi smo imeli takojšen vpogled v zelene grafične podatke ter zagotovili arhiviranje stanja pred brisanjem. Delo so olajšale tako pripravljene preglednice z različnimi podatki na enem mestu kot tudi pkv-datoteke za odpiranje zahtev v Devo. Razvrščanje po prioritetah je bilo sicer izvedeno tako ročno kot avtomatsko. Pomembno je, da smo pri primerjavi rezultatov dobili zaupanje v samodejne postopke in spoznanje, da nam lahko prihranijo veliko časa pri dokončnem ročnem razvrščanju. Odprave drugih vrst neskladij v prostorskih evidencah se bomo na podlagi pridobljenih izkušenj v prihodnosti zagotovo lotili na podoben način.

Na območju OGU Murska Sobota zelo dobra položajna usklajenost zemljiškega katastra in drugih slojev prostorskih podatkov zagotavlja veliko stopnjo pravilnosti rezultatov prostorskih analiz. Na desnem bregu Mure v naši OGU in na drugih območjih po Sloveniji, kjer se še pojavlja zamik med posameznimi sloji prostorskih podatkov, so rezultati takšne analize praviloma manj zanesljivi, a kljub temu zelo uporabni za praktično delo pri odpravi neskladij. Vsekakor je priporočljivo in zaželeno, da se v letu 2020 v analizo AIS za območje izdelanih DOF5 2019 vključi vsaj avtomatska izdelava slikovnih dokumentov za vse kategorije stavb (tj. nove, spremenjene, porušene), saj bo tako naloge odprave neskladij na OGU in geodetskih pisarnah lažje organizirati, izvajati in dokumentirati. Z namensko in ciljno kombinirano uporabo obstoječih možnosti snemalne, strojne in programske opreme pa so na področju avtomatske identifikacije stavb mogoče še višje stopnje avtomatizacije obdelav in procesov, kar omogoča racionalno izrabo kadrovskih, časovnih in finančnih virov geodetske službe.

Literatura in viri:

eGP (2020). Portal prostor.e-Geodetski podatki. Geodetska uprava Republike Slovenije, <https://egp.gu.gov.si/egp/>, pridobljeno 8. 2. 2020.

Triglav, J. (2018). Umetna inteligenca in avtomatska identifikacija stavb. *Geodetski vestnik*, 62 (2), 314–319. http://www.geodetski-vestnik.com/62/2/gv62-2_triglav2.pdf, pridobljeno 18. 5. 2020.

dr. Andreja Švab Lenarčič, univ. dipl. inž. geod.

*Območna geodetska uprava Murska Sobota
Murska Sobota, Lendavska ulica 18, SI-9000 Murska Sobota
e-naslov: andreja.svab-lenaric@gov.si*

dr. Joc Triglav, univ. dipl. inž. geod.

*Območna geodetska uprava Murska Sobota
Murska Sobota, Lendavska ulica 18, SI-9000 Murska Sobota
e-naslov: joc.triglav@gov.si*

50-LETNICA USTANOVITVE IN PRIČETKA DEJAVNOSTI LASTNE AEROSNEMALNE SLUŽBE V SLOVENIJI

50 YEARS FROM THE SETTING UP OF SLOVENIA'S OWN AERIAL SURVEY SERVICE

Boris Krotec

Spodbudo, da »zabeležim na papir« podrobnosti in ozadja delovanja snemanja iz zraka v Sloveniji (v nadaljevanju kar aerosnemanje) za potrebe stroke in širše, sem dobil v knjižnem delu Geodetski instrumenti na Slovenskem. V tem izredno lepem delu sem pogršel vsaj omembo, če ne celo kakšno fotografijo letalske snemalne kamere Wild RC-8 ali pa analognih instrumentov za izvednotenje letalskih posnetkov tako imenovanih avtoagrafov. Naj spomnim. Takole na pamet, kot ustvarjalec projektov aerosnemanja za katastrsko izmero in druge topografske načrte velikih meril ter tudi njihov neposredni izvajalec v letalu, smem trditi, da je bilo le-teh v slovenskem prostoru kar lepo število. Da ne omenjam snemanj samo za katastrske izmere v drugih republikah nekdanje SFRJ, kasneje pa v istih, že samostojnih državah. Odločil sem se, da s pomočjo neposrednih akterjev in drugih tesnih strokovnih sodelavcev nekdanjega Geodetskega zavoda SRS (v nadaljevanju: Zavod) tudi sam napišem prispevek na temo aerosnemanja pri nas. Predvsem želim predstaviti zanimive podrobnosti iz ozadja vzpostavitve enote za aerosnemanje v okviru Zavoda. Nekdo pač mora!

Po koncu druge svetovne vojne nas je vse čakala tako imenovana obnova. V tem kontekstu se kot nujen dejavnik pojavi geodetska stroka. Za potrebe gospodarstva in uporabo v širši skupnosti je bilo nujno obnoviti kartografsko gradivo v vseh njegovih oblikah. Najlažja in najhitrejša pot do zajema najnovejših podatkov o stanju v prostoru je bil – naj ga tako imenujem – »svež« aeroposnetek. Ta dejavnost je bila po zakonu o obrambi v tedanji SFRJ zaupana izključno »Odeljenju za snimanje iz vazduha« na Vojnogeoografskem inštitutu v Beogradu (VGI), ki ima sicer bogato tradicijo na področju kartografije.

Pomembnejše sporočilo strokovni in širši javnosti je, da je letos spomladi praznovala obletnico, in to ne katerikoli, ampak kar **50-letnico ustanovitve, prva in edina** uradno priznana v Sloveniji – Enota za aerosnemanje. Njen nastanek je nekako posledica hitrega razvoja geodetske dejavnosti na Slovenskem v najširšem smislu. Kot rečeno, je ta hitri razvoj v stroki terjal ustanovitev specializirane dejavnosti v njenem okviru, ob tem pa privedel do razmišljanja o ustanovitvi lastne aerosnemalne službe. Vendar v tistih, lahko rečem, »železnih časih« to ni bilo tako enostavno, saj je bila že sama stroka, predvsem na področju aerofotografije in kartografije, zaradi narave svojega dela na očeh pri delu oblasti. Med dejavniki tega razvoja moram vsekakor izpostaviti nekdanji Zavod. Za korak naprej pa je manjkal droben, a pomemben člen – posnetek iz zraka. In to ne katerikoli, ampak »naš«, domač! Zakaj domač? Zato, ker je bila ta dejavnost v takratni skupni državi izključno domena »vojske«. Namerno sem uporabil izraz vojska, saj je bila sinonim za vse, kar se je – bolj slabega kot dobrega – dogajalo v družbi. Še posebej pa

je bila na aktivnosti fotografiranja iz zraka pozorna vojaška obveščevalna služba, ki je imela zaslonbo v zveznem zakonu o obrambi. Praviloma so iz teh vrst prihajali zapriseženi cenzorji bodočih aeroposnetkov. Na področju zakonodaje je bilo torej treba storiti prve korake za njeno spremembo na vseh ravneh.

Kot rečeno, je bil Vojnogeografski inštitut edina institucija, ki mu je bila poverjena naloga snemanja iz zraka na celotnem območju prejšnje države. Zaradi izredno povečanega obsega dela pa je pričela trpeti kakovost aeroposnetkov. Predvsem so naši glavni uporabniki v Sloveniji – Inštitut za geodezijo in fotogrametrijo (IGF) pri Fakulteti za gradbeništvo in geodezijo pri Univerzi v Ljubljani ter AFOS – pričakovali posnetke pred popolnim olistanjem. AFOS je bilo od sredine petdesetih let manjše podjetje za izrednotenje aeroposnetkov, ki se je pozneje združilo z Zavodom. Dobivali smo posnetke iz poletnega (polna vegetacija) ali poznojesenskega obdobja (izredno dolge sence). In zgodilo se je celo, da v posameznem letu VGI preprosto ni uspelo posneti naročenega območja. Zaradi neizpolnjevanja pogodbenih obveznosti v nizu VGI–naročnik–uporabnik končnega izdelka je nastajala gospodarska škoda, slabšala so se tudi priporočila posameznega uporabnika. Zelo težko je izvajati dobro identifikacijo na fotokscakah, posnetih v polni vegetaciji. Da ne govorim o težavah, ki so jih imeli restitutorji z zajemom podatkov, predvsem je šlo za višinske predstave – plastnice. To se je dogajalo, ko je nastajala takrat nova osnovna državna karta (ODK), kasneje preimenovana v temeljni topografski načrt (TTN 5 in 10). S podobnimi težavami so se srečevali tudi v drugih republikah.

To je bil glavni razlog za pogovore na najvišji ravni – med vlado SFRJ in vlado SR Slovenije – o spremembah zakonodaje s tega področja. Bistvene utemeljitve za zagotovitev lastnega aerosnemanja je posredovala republiška geodetska uprava SRS (RGU) kot zastopnik politike – ustanovitelj vlade LRS, bodočim interesentom za izvajanje aerosnemanja. In to se je dogajalo, ko je bilo na slovenskem političnem prostoru precej burno. Posledično pa je to pomenilo tudi razbremenitev VGI-jevih snemalnih zmogljivosti.

Vse pogostejše kritike uporabnikov glede nekakovostnih posnetkov v Sloveniji so spodbudile prizadevanje za spremembe. Pridobil sem dokument iz tistega časa, ki analitično prikazuje razmere na tem področju. Nastal je kot podlaga zakonodajalcem za spremembe zakonov na zvezni ravni, in sicer za področji geodetske dejavnosti in obrambe. Posledično seveda tudi zakonov na ravni tedanjih republik. Imenuje se *»Informacija o problemih aerosnemanja v SFRJ in predlogih za njihovo rešitev«*. Kot zanimivost bom citiral samo zaključni del dokumenta, ki govori o predlogih in rešitvah. Navajam:

»Za dosego decentralizacije in na gospodarskih principih poslujoče oblike organizacije za snemanje iz zraka je potrebno, da:

- 1. Geodetske delovne organizacije, ki se bavijo s fotogrametrijo, dobe pooblastilo Zveznega izvršnega sveta za izvrševanje snemanja iz zraka. Kriterije oz. priporočila pa pripravi Zvezna geodetska uprava v sodelovanju z republiškiimi geodetskimi upravami.*
- 2. Geodetske delovne organizacije se po samoupravni poti dogovore o formiranju medrepubliških snemalnih centrov. Samoupravno dogovarjanje mora upoštevati gospodarske principe poslovanja.«*

Kot sem že navedel, sta bila glavna pobudnika za spremembe, v okviru katerih je nastal tudi navedeni dokument, Zavod in RGU. Med odločilne dejavnike tega obdobja, ki so pripomogli k še hitrejšemu razvoju, moram prišteti novonastali inštitut v okviru Zavoda. Njegov idejni vodja in tudi sicer vizionar napredka v stroki tako doma kot na tujem je bil Tomaž Banovec. Beleženje takratnih dogodkov sega tudi

v čas nastanka in razvoja dejavnosti Zavoda. Odločitev o lastni snemalni službi je zahtevala ogromen finančni vložek Zavoda. In to ravno v času, ko so se pričele priprave za gradnjo novega, sodobnega poslopja.

V optimističnem pričakovanju in tudi namigih o pozitivnem rezultatu je vodstvo takratnega Zavoda, tj. direktor Teobald Belec in njegov nepogrešljivi svetovalec pomočnik Janko Zubalič, že pričelo izvajati prve aktivnosti za ustanovitev enote aerosnemanje. Končno so intenzivni pogovori z zakonodajno oblastjo tedanje SFRJ v letu 1969 dosegli tako želene in pričakovane spremembe vrste zakonov in njihovih podzakonskih aktov za to področje. Ne smemo pozabiti, da so nam ob teh prizadevanjih izdatno pomagali tudi naši, slovenski strokovnjaki, takrat zaposleni na VGI-ju. To sta bila predvsem snemalec in navigator major Albin Stančič in major Zvone Gorjup, specialist za restitucijo in vzdrževanje že v začetku omenjenih analognih instrumentov za izvedenotenje aeroposnetkov.

Napočil je dan, ko je Slovenija končno dobila zeleno luč, da gre »na svoje«! Najprej je bilo treba znotraj Zavoda poiskati pravo osebo, ki bo s svojim znanjem in elanom potegnila voz. Kajti treba je bilo rešiti več težav – materialnih, kadrovskih, administrativnih in logističnih. Teorijo je bilo treba spremeniti v prakso. Kako se je Zavod spopadel z vsem omenjenim?

Kot prvo – še danes sem tega mnenja – je navedeni »dvojec« na Zavodu našel resnično **pravega** človeka in ga postavil pred izziv v stroki, ki je bila poznana – po študijskem predmetu med šolanjem geodetov – kot fotogrametrija. In seveda vse, kar je s tem povezano. To je bil **Janez Jemec** (v nadaljevanju kar: Janez). Mlad, ambiciozen inženir, strokovnjak. Tudi izreden športnik, smučar slalomist, državni reprezentant. Z njim sem se slučajno spoznal leta 1968 na terenu, v Ljubnem ob Savinji. Sicer v različnih delovnih vlogah, a vendar. Po končanem delu smo v večernih urah urejali dnevno dokumentacijo in ob teh priložnostih je tekla beseda tudi o delu na terenu. O posebnostih, o reševanju problemov itd. Naj povem, da sem si njegove razlage, ki so bile na trenutke zelo temperamentne (morda prav zaradi tega) – kot radi rečemo – zapomnil za zmeraj. Z ustanovitvijo enote za aerosnemanje je Janez tudi formalno postal njen vodja. Z vse hitrejšim razvojem se je enota kmalu preimenovala v Oddelek za aerofotografijo. A več o tem v nadaljevanju.

V tovarni Wild v Heerbruggu (Švica) je Zavod naročil prvo snemalno kamero novega formata aeroposnetka, tj. 23 cm × 23 cm – že omenjeno RC-8 s širokokotnim objektivom z goriščno razdaljo 152 mm. Tudi VGI je posodobil svojo snemalno opremo in s formata 18 cm × 18 cm prešel na novi format. Po nabavi enake snemalne kamere RC-8 pa so med svojo snemalno opremo dodali še najnovejšo verzijo snemalne kamere RC-10. Tako se je končalo obdobje snemanja z zastarelo tehnologijo, med katero prištevamo celo snemanje na steklene fotografske plošče. Novejša, bolj izpopolnjena kamera RC-10 pa je bila za naš »žep« krepko predraga. Istočasno je bil pri Optonu (takrat vzhodnonemški Zeiss) naročen prvi navigacijski daljnogled in popolna laboratorijska oprema. Za izdelavo fotopovečav smo laboratorij opremili še z vrhunskim povečevalnikom iz Wildove tovarne.

Janez je odšel na šolanje v tovarno Wild v švicarskem mestu Heerbrugg in ga opravil z odliko. Po povratku v domovino je znanje prenesel na sodelavce in skupaj smo zavihali rokave ter spravili v delovanje prvi sistem za uporabo nove tehnologije na ozemlju današnje države. Dosti kasneje je sledila še pot na izpopolnjevanje na Nizozemsko. Do takrat poklic snemalca, kot smo imenovali operaterja na aerosnemalni kameri, in navigatorja – ni obstajal. Temu delu se je bilo treba pač priučiti in stalno dopolnjevati svoje znanje.

Vzporedno s to dejavnostjo so potekali razgovori z Aeroklubom Ljubljana, kjer so imeli dvomotorna letala češke izdelave MORAVA L-200. Na kratko smo jih poimenovali kar »morava«. Ne nazadnje je šlo v tem primeru za obojestranski finančni interes. Rezultat izredne dejavnosti direktorja Belca (nekaj časa je bil tudi predsednik) in drugih vodstvenih delavcev Aerokluba je bil, da je bilo v aprilu 1970 pripravljeno prvo modificirano letalo z imenom YU-BBK z možnostjo vgraditve tako snemalne kamere kot navigacijskega teleskopa (slika 1). Pri tem je glavno vlogo odigral takratni inštruktor letenja na Moravi inž. Ivan Kralj - King.



Slika 1: Morava L-200 YU-BBK (pod trupom vidna glava navigacijskega daljnogleda Zeiss-Opton NT-1).

Naslednji korak je bil kadrovanje v enoti in fotolaboratoriju. V enoti sem »pristal« kot drugi član. Znotraj Zavoda smo iskali bodoče sodelavce. Odziv je bil razmeroma skromen. Predvsem je bil prisoten strah pred letenjem. Drugi vidik, ki je pogojeval delo aerosnemalca, pa je bil psiho-fizična sposobnost, ki jo je zapovedovala zakonodaja s področja letalskega osebja. Fotolaboratorij sta »na noge« postavila nepozabna sodelavka Ančka Golorej in mladi diplomant šole za fotografijo v Švici, inž. Zoran Gregorič. Kot strokovnjaka na svojem področju sta tesno sodelovala pri odločitvah o nabavi ustreznih filmov. V začetku so bili to filmi proizvajalca KODAK. Naj kot zanimivost nepoučenemu bralcu navedem dimenzije: novi format je bil širine 24 cm in dolžine 76 metrov! Kasneje smo se osredotočili na uporabo filmov iz AGFE. Za vzdrževanje snemalne opreme je skrbel zavodski servis za geodetske instrumente, ki ga je takrat vodil odlični poznavalec mehanike in optike Vinko Mohorič.

Pred izvedbo prvega poleta je bilo treba urediti še kar nekaj administrativno-birokratskih formalnosti, na osnovi katerih se je lahko poletelo na prvi let (slika 2). In v aprilu daljnega 1970. leta je napočil dan prvega poleta. Na dopust in z nalogo inštruktorja snemalca in navigatorja je iz Beograda prispel najboljši snemalec, kar jih je premogel VGI – Albin Stančič, naše gore list (slika 3). Sam je rad slišal, da smo mu rekli kar Albin. Spomnim se ga kot izredno mirnega in potrpežljivega človeka. Bil nam je kot dober oče. S svojo pojavnostjo je vnašal mir v dogodke, ki so sledili. Na ploščadi letališča smo v letalo vgradili kamero in navigacijski daljnogled. Še enkrat je bilo treba osvežiti postopke za rokovanje s kamero. Znanje je podajal kot pravi profesor, pedagog. S seboj je prinesel list za beleženje dela med poletom. Obrazec je bil še v srbohrvaščini in se je imenoval »Propratni list«. Na njem je zabeležen prvi polet snemalne ekipe (slika 4). S prvim pilotom inž. Venceslavom Žakljem je bilo dogovorjeno, kakšni so postopki za uspešen polet. Uredil je vse formalnosti, ki so bile zahtevane pred poletom. Tudi pregled letala.

DRŽAVNI SEKRETARIAT ZA
NARODNO OBRAMBO

B E O G R A D

1135/70
30.4.1970
snemanje iz zraka
za izmeritev

SAVEZNA UPRAVA ZA CIVILNU
VAZDUŠNU PLOVIDBU
- Pravno odelenje -
B E O G R A D
Brankova 25

1134/70
30.4.1970
Odobrenje leta

Po odloku o pooblastitvi delovnih organizacij za snemanje iz zraka za izmeritev zemljišč /Ur. list SFRJ št. 13/ vam v skladu z 2. točko Odloka pošiljamo podatke za snemanje iz zraka delovišča z naslovom "Bohinj".

1. Področje : Bohinjsko jezero
2. Čas aerosnemanja: od 5. maja do 5. junija 1970
3. Za čigave potrebe: Občinske skupščine Radovljica
4. Skica po topografski karti 1:100.000: Bled, Tolmin.

Področje delovišča, ki ga bodo pokrili aerofotoposnetki je označeno na priloženem prozornem papirju.

Dir e k t o r
Teobald Belec, dipl.geod.ing.

1 priloga

Polimo vas, da nam za potrebe aerofotogrametrijskog snimanja odobrite letenje na zadatku "Bohinj" - područje Bohinjskog jezera od 5. maja do 5. junija 1970.

U prilogu vam dostavljamo prijavo zadatka Državnem sekretarijatu za Narodno odbranu.

Podatki za letalo: i posadu:

- letalo: tip Morava, oznaka YU BBK
- lastnik: Aeroklub "Stanko Bloudek", Ljubljana
- pilot: Zakeelj Venceslav - Aeroklub
- Navigator: Janez Jamec - Geodetski zavod SRS
- snemalec: Albin Stančič, major VGI

Dir e k t o r
Teobald Belec, dipl.geod.ing.

Slika 2: Administrativno-birokratske formalnosti o prvem poletu.



Slika 3: Naš cenjeni mentor Albin Stančič.

Nova panoga je postala tudi ekonomsko zelo pomembna za Zavod. Ne nazadnje je bilo treba upravičiti precejšnja sredstva, ki so bila vanjo vložena. S promocijo aerosnemanja pa je vse bolj naraščalo zanimanje za različne oblike uporabe aeroposnetkov. Z odločitvijo o nakupu opreme za multispektralno snemanje podjetja Hasselblad smo zaokrožili vlaganja v nakup sodobne snemalne opreme. S tem je bila pokritost z opremo za izvršitev nekaterih nalog popolna.

PROBA NOVE FOTOKAMERE
RC-8 NŠ 1054
PROPRATNI LIST br. 10

id: 1570

AVION: Morava YU-BBK OSETLJIVOST: 21,60" DIN
VZDUŠNI PREKLON: 60% FOTOKAMERA RC-8 BR. 1054
VUTJAZA FILMA: - KASETA BROJ: 1088
FILM-ROLEJE: Fujifilm 23x23 ULOŽAK: Bogen f

Datum snimanja	Pravni let	Red	Broji negativov				Sekcija	Podaci o ekspoziciji		
			Registarski od	Definitivni do	Registarski od	Definitivni do		EKS.	BL	SITO
2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12

PODRUČJA: OKOLINA LJUBLJANE

Pr. št.	—	—	1	11	—	Na zemlji nepolete	—
—	—	—	12	25	—	Južnjana	1000 36 2x
—	—	—	26	28	—	—	300 4 -

Film odloži! - probni snimanje.

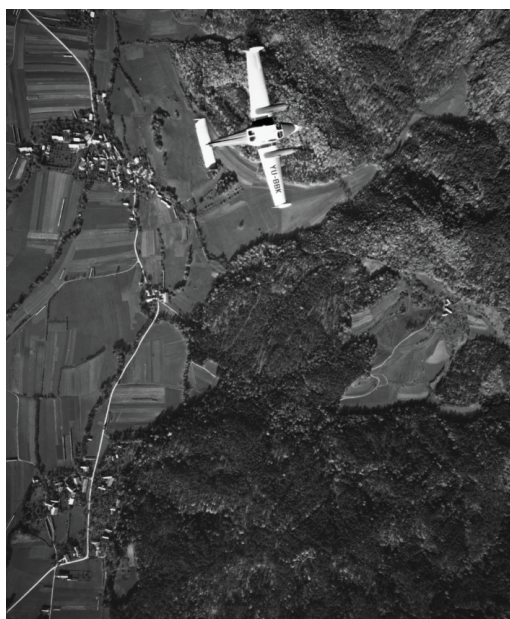
Pilot: Zup. ing. Lokovšek Izvidac: Zup. ing. Janez
Primerbe snimatelja: Kamera radica bez sproskovno
Film podexponiran.

Metearološki uslovi: potpuno oblačno sa
su maglicom.
Snimatelj: Zup. Francićević

Obrada filma:
Vrsta razvijaca: Rodinal Trajanje razvijanja: 10'

Slika 4: Obrazec »Propratni list« prvega snemanja Zavoda (prva in zadnja stran).

Tistega daljnega 17. aprila 1970 sta Janez in Albin uspešno opravila prvi polet in preizkus delovanja kamere. To je bil zgodovinski trenutek, ki bo ostal za vedno zapisan ne samo v stroki, temveč širše! Končno dejanje pa se je z rahlo nestrpnostjo odvijalo pred fotolaboratorijem. V pričakovanju rezultatov prvega snemalnega dne. Za analizo in nadaljnje učenje.



Slika 5: Morava YU-BBK pod nami. Foto iz Morave YU-BBF s snemalno kamero Zeiss-Opton RMK a 15/23" (levo) in pilot Jure Lokovšek (desno)

Kot rečeno, je uporaba aerosposnetkov na številnih področjih v gospodarstvu in znanosti postajala vse večja. Z uspešno opravljenimi projekti pa so rasle tudi reference Zavoda in njegove aerosnemanalne službe. Zadan naloge smo komaj še obvladovali, izpolnjevali. Znašli smo se v situaciji, ki smo jo nekoč sami kritizirali. Že po dobrih dveh letih je padla odločitev o nakupu še ene snemalne kamere in pripadajoče opreme. Tokrat Optonove RMK A 15/23. Ena od prednosti te kamere je bila možnost vstavitve aerofilma proizvajalca AGFA, ki je bil dolžine kar 152 metrov! Za začetek smo delali prav tako s širokokotnim 90-stopinjskim objektivom 153 mm. Aeroklub Ljubljana nam je dal na voljo še eno letalo »Morava« z oznako YU-BBF in pilota (slika 5).

Enota za aerosnemanje se je kadrovsko okrepila in preimenovala v Oddelek za aerofotografijo Geodetskega zavoda Slovenije. Na sliki 6 je ena od ekip v začetku sedemdesetih let med pripravami pred poletom. Na sledečih fotografijah (sliki 7 in 8) želim predstaviti še nekaj »pionirjev« iz časa nastanka enote.



Slika 6: Vodja Jemec Janez v pripravi ekipe Černe Franc-Krotec Boris pred poletom



Slika 7: Prvi člani enote (od leve proti desni) – Branko Zupančič, Peter Guzelj, Peter Kos in Boris Krotec.



Slika 8: Kostja Divjak in Boris Krotec v Sarajevu.

S tehnološkim napredkom, tj. digitalizacijo posnetkov iz zraka, se je spreminjala tudi snemalna oprema (slika 9), s tem pa tudi oprema za njihovo izvedenotenje.



Slika 9: Prvotna snemalna oprema ter letali Piper in Cessna.

Podrobneje o zanimivostih pri projektih, ki smo jih izvajali doma in v tujini, in razlaga o nadaljnji dejavnosti tega oddelka pa v bodoči knjižni izdaji, podprti s še več fotografskega gradiva. Svoje poglede na dogodke vse do neslavnega propada aerosnemalne službe bodo s pričevanji dodali še drugi sodelavci, ki so bili kakorkoli povezani z aerofotografijo.

Boris Krotec

Srednje Gameljne 037E

SI-1211 Ljubljana – Šmartno

e-naslov: boriskrotec@gmail.com

20 LET PO OBDOBJU DUŠANA MIŠKOVIĆA 20 YEARS AFTER THE DUŠAN MIŠKOVIĆ PERIOD

Jurij Režek, Sandi Berk



Letošnjega 5. maja je minilo 20 let od slovesa od našega kolega Dušana Miškovića. Njegov smeh bo ostal v spominu vsem, ki smo ga poznali, prav tako njegova na strokovnosti utemeljena mnenja in stališča o geodeziji. Posebna je bila njegova venomer pozitivna naravnost pri utemeljevanju, kaj je prav in dobro za stroko, ter pri motiviranju in vzpodbujanju kolegov geodetov. Nesebično je gradil sodelovanje ter medsebojno vključenost med kolegi in subjekti geodezije.

V mladosti je želel postati pilot, tako kot njegov oče, a so mu zdravstveni razlogi to preprečili. Moral je preusmeriti svoje zanimanje in se je tako odločil za zemeljsko vedo, za geodezijo. Še vedno pa je imel visoke cilje. Že med študijem ga je odlikovala težnja po popolnosti. Ni bil sposoben preskočiti ali zanemariti niti najmanjše podrobnosti, ko česa ni razumel. Vsako neznanko je raziskal do potankosti, čeprav ga je to zaneslo v za študenta na videz nerazumno preučevanje in raziskovanje podrobnosti. Že med študijem

se mu ni bilo težko povezati se s spoštovanimi profesorji s področij geodezije tudi zunaj lastne fakultete. Težnja po popolnosti znanja in razumevanja področja geodezije mu je vzela veliko časa, vendar je s tem gradil visoko strokovnost, ki jo je izkazal kasneje na svoji prekratki poklicni poti.

Ni podcenjeval nikogar, bil je odličen poslušalec, spoštoval je vsakega sogovornika, četudi slednji ni dosegal ravni njegove strokovnosti ali splošne razgledanosti. Znal je prepričevati in prepričati, a tudi slišati in upoštevati. Visoka strokovnost ter sproščen, odkrit in pošten odnos do sodelavcev, znancev ter prijateljev sta privedla do tega, da je popestril vsako strokovno ali laično razpravo in bil vsakomur dobrodošel sogovornik. Študentje so ga obiskovali tudi popoldne na njegovem domu na Kosezah, kjer jim je pomagal in jih učil dela z instrumenti. Znal si je vzeti čas za prijatelje, srečati ga je bilo mogoče ob večerih v Ljubljani, v ljubljanskem Mostecu ob šahistih ali pa na Rožniku na progi za trim.

Bil je nepogrešljiv pri razpravah o razvojnih smereh geodezije, zlasti pri usmerjanju področja osnovnega geodetskega sistema v državni geodeziji. Je eden od soustanoviteljev Slovenskega združenja za geodezijo in geofiziko leta 1993. Njegovo znanje in zavzetost sta pripomogla k razpoznavnosti slovenske geodezije tudi na mednarodnem področju. O tem pričajo objave strokovnih del, pri katerih je sodeloval z veliko takrat najeminentnejšimi strokovnjaki iz jugoslovanskega in evropskega prostora. V navezavi z današnjim Zveznim uradom za kartografijo in geodezijo iz Frankfurta na Majni je v letih od 1994 do 1996 organiziral tri mednarodne EUREF GPS-izmere, ki so bile podlaga za vzpostavitev sodobnega referenčnega koordinatnega sistema v Sloveniji. V vse tri EUREF-kampanje na območju Slovenije je vključil tudi študente. Za delo z GPS se je takrat izšolalo okoli 30 slovenskih geodetov, ki so jeseni 1996 kot operaterji v njegovi organizaciji sodelovali še pri mednarodni GPS-kampanji EUREF v Makedoniji. Pripravljal je študijo za izgradnjo prve slovenske stalne GPS-postaje na Toškem Čelu; ideja je bila zelo vizionarska. Te postaje potem ni bilo, so pa bile njegove zamisli s pridom uporabljene pri postavitvi prve stalne postaje v Ljubljani. Zasnovo je delo na področju sanacije geodetskih mrež, uvedbi GPS-tehnologije, vzpostavitvi gravimetrične mreže v Sloveniji. A bolezen ga je premagala v maju 2000.

Ostala je njegova zapuščina, pomembna za tako kratko obdobje delovanja. Ne le strokovna zapuščina, tudi njegova življenjska energija in odnos do stroke in sodelavcev nam je lahko, celo mora biti, za vzor. Mnoga izhodišča, ki so se prav zaradi njega oblikovala v njegovem času, so bila kasneje vključena v Strategijo osnovnega geodetskega sistema pripravljavcev iz geodetske uprave, oddelka za geodezijo na naši fakulteti in geodetskega inštituta, ki jo je sprejela vlada RS leta 2004.

Področje, na katerem je deloval Dušan, danes imenujemo državni prostorski koordinatni sistem. S tem nazivom je bilo leta 2014 namreč umeščeno v zakonodajni sistem Slovenije. Posamezne sestavine se uresničujejo po zasnovah, ki so bile oblikovane v obdobju njegovega delovanja na geodetski upravi pred dvema desetletjema. Mi, ki delamo na teh področjih geodezije, smo obdržali in nadgradili tudi vključenost in sodelovanje slovenske stroke, fakultete in inštituta v dela na državnem geodetskem sistemu. Zasnove iz njegovega časa uresničujemo. Zato je prav, da se spomnimo začetkov ter tvorca sistematičnega in strokovnega oblikovanja tega področja v slovenski državni geodeziji.



Odšel je prezgodaj. Zato se moramo tisti, ki danes na Uradu za geodezijo uresničujemo in nadaljujemo njegovo delo, ter vsi njegovi sodelavci in prijatelji spomniti njegovega obdobja.

mag. Jurij Režek

Geodetska uprava RS
Zemljemerska ulica 12, SI-100 Ljubljana
e-naslov: jurij.rezek@gov.si

Sandi Berk

Geodetska uprava RS
Zemljemerska ulica 12, SI-100 Ljubljana
e-naslov: sandi.berk@gov.si

NOVICE IZ STROKE NEWS FROM THE FIELD



REPUBLIKA SLOVENIJA
MINISTRSTVO ZA OKOLJE IN PROSTOR

GEODETSKA UPRAVA REPUBLIKE SLOVENIJE

NOVICE GEODETSKE UPRAVE RS

DELO GEODETSKE UPRAVE V ČASU EPIDEMIJE COVID 19

Ob razglasitvi epidemije covid-19 je Geodetska uprava RS sprejela številne ukrepe in prilagoditve izvajanja upravnih nalog z namenom preprečitve širjenja okužb. Med drugim so bila pripravljena navodila za delo s strankami in obvestilo o zagotavljanju kibernetске varnosti med trajanjem epidemije. Posebna ureditev je veljala tudi pri uporabi službenih avtomobilov in izvajanju nujnih terenskih del.

Dne 15. 3. 2020 je bil zaradi širjenja nalezljive bolezni SARS-CoV-2 (covid-19) in z namenom preprečevanja njenega nadaljnjega širjenja izdan sklep, s katerim smo nekaterim javnim uslužbencem odredili delo na domu. V marcu in aprilu je povprečno 40 % uslužbencev geodetske uprave delo opravljalo na delovnem mestu, medtem ko so ostali bodisi delali od doma (33 %) ali pa vzeli lanski dopust, bili na bolniški oziroma čakali na delo zaradi višje sile (27 %). V maju je bila povprečna prisotnost na delovnem mestu že skoraj 60 % vseh uslužbencev geodetske uprave. Sklep o odreditvi dela na domu je bil dne 18. 5. 2020 preklican za vse javne uslužbence geodetske uprave, razen za tiste izjeme, pri katerih so še obstajali razlogi za odrejanje dela na domu. Z Odlokom o preklicu epidemije nalezljive bolezni SARS-CoV-2 (COVID-19) (Uradni list RS, št. 68/2020) je bila na območju Republike Slovenije z dnem 31. 5. 2020 preklicana epidemija nalezljive bolezni. Glede na navedeno je bil zato z dnem 8. 6. 2020 v celoti preklican tudi sklep o odreditvi dela na domu. Med razglašeno epidemijo je bilo spremenjeno tudi vročanje upravnih zadev in štetje rokov v upravnih postopkih. Geodetska uprava je objavila pojasnilo s podrobnejšimi navodili glede začasnih ukrepov, uveljavljenih na podlagi Zakona o začasnih ukrepih v zvezi s sodnimi, upravnimi in drugimi javnopravnimi zadevami za obvladovanje širjenja nalezljive bolezni SARS-CoV-2 (ZZUSUDJZ).

Vsi našteti ukrepi so se kljub zahtevnim razmeram ter tehničnim in kadrovskim omejitvam izkazali za pravilne in uspešne. V obdobju razglašene epidemije se zaostanki v upravnih postopkih niso povečali, pravzaprav so se celo nekoliko zmanjšali, saj smo v marcu in aprilu rešili več zadev, kot smo jih prejeli (14.680 zadev). Kombinacija pravih ukrepov ter zavzetost uslužbencev sta omogočila hitro prilagoditev dela novim razmeram. Najbolj gre zahvala za dobre delovne rezultate prizadevnosti uslužbencev geodetske uprave, ki jim je navkljub omejitvam in oteženim okoliščinam uspelo opraviti večino načrtovanih nalog. Poudariti pa velja, da so med epidemijo zelo odgovorno ravnale tudi stranke oziroma lastniki nepremičnin in geodetskih podjetij. Vsem bi se tu želel zahvaliti za odgovornost in dobro opravljeno delo.

Tomaž Petek, generalni direktor Geodetske uprave RS
e-naslov: tomaz.petek@gov.si

LETNO POROČILO GEODETSKE UPRAVE ZA LETO 2019

Kot že vrsto preteklih let je Geodetska uprava RS tudi v letu 2019 nadaljevala aktivnosti, ki našim uporabnikom omogočajo enostaven dostop in uporabo kakovostnih podatkov iz geodetskih evidenc in storitev, povezanih z uporabo teh podatkov.

Geodetska uprava RS nadaljuje posodabljanje sistema registracije nepremičnin in informacijske podpore za upravljanje prostora. Sem spada tudi vzpostavljanje učinkovite infrastrukture za prostorske informacije. Izvajali so se redni postopki vzdrževanja podatkov nepremičninskih evidenc ter aktivnosti za izboljšanje kakovosti podatkov. V okviru izboljšave podatkov nepremičninskih evidenc je bila izvedena prva faza nove katastrske izmere (postopki urejanja mej in terenska izmera) na več manjših območjih. Potekala je uskladitev mej občin iz registra prostorskih enot z mejami parcel iz zemljiškega katastra. V sodelovanju s Fakulteto za gradbeništvo in geodezijo pri Univerzi v Ljubljani je bila zaključena raziskovalna naloga na področju zajema podatkov terenskih meritev. V letu 2019 se je končal tudi raziskovalni projekt z naslovom *Povečanje zanesljivosti javnih omrežij GNSS SIGNAL in 0. red*. Izvajala so se vzdrževalna dela državne meje z Italijo, Avstrijo in Madžarsko.

Drugo polovico leta 2019 so zaznamovale aktivnosti poskusnega izračuna posplošene vrednosti nepremičnin ter razgrnitev in usklajevanje modelov vrednotenja. Dne 1. 10. 2019 je bil, v skladu z Zakonom o množičnem vrednotenju nepremičnin – ZMVN-1 (Uradni list RS, št. 77/2017 in 33/2019), na portalu množičnega vrednotenja nepremičnin javno objavljen predlog modelov vrednotenja nepremičnin in poskusno izračunane vrednosti, ki so bile nepremičninam izračunane na podlagi objavljenega predloga modelov vrednotenja in podatkov nepremičnin v registru nepremičnin na dan 27. 6. 2019. Hkrati je na vseh slovenskih občinah od 1. do 30. oktobra 2019 potekala javna razgrnitev predloga modelov vrednotenja nepremičnin.

Na projektu eProstor smo prešli v drugo polovico izvajanja. Delo na vseh petih podprojektih poteka v skladu z začrtano časovnico. V letu 2019 se je v celoti zaključilo skeniranje arhiva zemljiškega katastra, katastra stavb, dokumentov arhiva državnih prostorskih aktov in prostorskega umeščanja podatkov arhiva državnih prostorskih aktov (pozicioniranje). V ta namen je bila izdana brošura z naslovom Dediščina katastrov na Slovenskem.

Več informacij o delu geodetske uprave je na voljo na spletni strani: <https://www.gov.si/zbirke/katalogi-informacij-javnega-znacaja/?org=2545>

Vir: Geodetska uprava RS



OBJAVLJENO POROČILO O SLOVENSKEM TRGU NEPREMIČNIN ZA LETO 2019

Zadnje dni maja 2020 je Geodetska uprava RS na spletni strani objavila *Poročilo o slovenskem trgu nepremičnin za leto 2019*. Za slovenski trg nepremičnin v letu 2019 lahko rečemo, da je bil, kljub umiritvi trgovanja v zadnjih dveh letih, še vedno zelo dejaven. V primerjavi z letom prej se je število realiziranih transakcij z nepremičninami lani celo nekoliko povečalo.

V letu 2019 je bila na račun povečanega prometa s poslovnimi nepremičninami dosežena tudi zgodovinsko rekordna vrednost prometa na slovenskem nepremičninskem trgu, saj je trg poslovnih nepremičnin zaznamovala prodaja večjega števila nakupovalnih središč, velikih trgovin in hotelov, ki je odločilno vplivala na rekordno vrednost prometa z nepremičninami. Cene stanovanjskih nepremičnin so v letu 2019 še naprej rasle, vendar z manjšo močjo kot v predhodnem letu. Skoraj povsod po Sloveniji so cene stanovanj v večstanovanjskih stavbah presegle cenovni vrh iz leta 2008. Evidentiranih je bilo 35.500 sklenjenih kupoprodajnih pogodb za nepremičnine, katerih skupna vrednost je znašala skoraj 2,7 milijarde evrov.

Na ravni Slovenije je bila povprečna cena kvadratnega metra rabljenega stanovanja 1.850 EUR. Povprečna cena rabljenega stanovanja je bila tako v primerjavi z letom 2018 višja za 5 odstotkov. Cene stanovanj so zadnja tri leta najvišje v Ljubljani. Leta 2019 so bile več kot 50 odstotkov nad slovenskim povprečjem.

Po ravni cen sledi območje Obale brez Kopra z letoviškimi kraji, ki so imeli primat najvišjih cen stanovanj v državi do leta 2016. Tu so bile lani cene stanovanj za slabih 10 odstotkov nižje kot v glavnem mestu. Nad slovenskim povprečjem so še cene stanovanj v Kopru (dobrih 30 odstotkov), na območju okolice Ljubljane (dobrih 20 odstotkov) in v Kranju (10 odstotkov). Raven cen stanovanj v Mariboru in Celju je približno enaka, v povprečju pa so cene stanovanj za več kot polovico nižje kot v Ljubljani oziroma približno 30 odstotkov pod slovenskim povprečjem. Najnižje cene stanovanj ima med obravnavanimi območji Murska Sobota, kjer so več kot 40 odstotkov nižje od povprečja in več kot 60 odstotkov nižje od ljubljanskih.

Povprečna cena stanovanjske hiše s pripadajočim zemljiščem je leta 2019 v Sloveniji znašala 128.000 evrov in je bila v primerjavi z letom prej višja za 3 odstotke. Glede na tip hiše je bilo med hišami, ki so bile lani prodane v Sloveniji, malo več kot 82 odstotkov samostojnih hiš, 15 odstotkov vrstnih hiš in malo manj kot 3 odstotke dvojčkov.

Trg zemljišč za gradnjo je leta 2019 vrednostno predstavljal več kot 12 odstotkov vsega prometa z nepremičninami, medtem ko sta trga kmetijskih in gozdnih zemljišč skupno predstavljala nekaj več kot 3 odstotke. Trga zemljišč za gradnjo stavb in stanovanjskih nepremičnin sta tesno povezana, saj okoli 90 odstotkov kupoprodaj nezazidanih stavbnih zemljišč predstavljajo zemljišča za individualno gradnjo družinskih hiš in večstanovanjskih stavb. Na ravni Slovenije je bila v letu 2019 povprečna cena zemljišča za gradnjo stavb



GEODETSKA UPRAVA REPUBLIKE SLOVENIJE
MAJ 2020

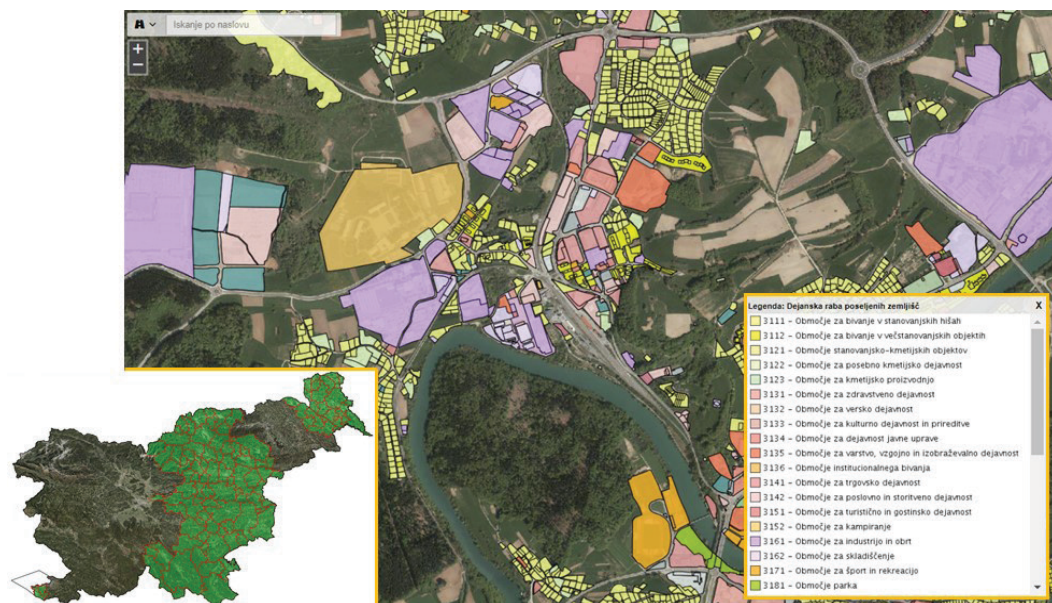
55 EUR/m², povprečna površina pa 1.420 m². Na splošno so cene zazidljivih zemljišč najvišje tam, kjer je povpraševanje največje. To pa je v glavnem mestu, ob morju in v turističnih krajih. Z oddaljenostjo od mestnega središča cene zazidljivih zemljišč občutno padajo in so v okolici največjih mest za več kot polovico nižje. V letu 2019 so bile cene zazidljivih zemljišč daleč najvišje v Ljubljani, kjer je povpraševanje zelo veliko, ponudbe nezazidanih zemljišč za takojšnjo gradnjo pa tako rekoč ni. Manjši investitorji tako v glavnem iščejo stare hiše za nadomestno gradnjo manjših večstanovanjskih stavb (vila blokov), katerih cene pa gredo v nebo.

V bližnji prihodnosti hitrega padca cen nepremičnin po preklicu epidemije ni pričakovati. Za gibanje cen nepremičnin v naslednjih letih bo ključno dogajanje na trgu stanovanjskih nepremičnin v največjih mestih. Če bodo investitorji težko pričakovana nova stanovanja, ki bodo prišla na trg v letošnjem in naslednjem letu, ponudili po tržno sprejemljivih cenah, se bo zmanjšal tudi pritisk na cene rabljenih stanovanj, in cene nepremičnin se bodo za nekaj časa ustalile. Če pa bodo cene novogradenj glede na plačilno sposobno povpraševanje previsoke, lahko nastopi prodajni krč in hiter zdrs v krizo nepremičninskega trga, ki ji sledi ponovno dolgotrajno okrevanje.

Poročilo je dostopno na spletnem naslovu: https://www.mvn.e-prostor.gov.si/fileadmin/user_upload/MVN/Dokumenti/Porocila/Letno_porocilo_za_letno_2019.pdf

Vir: Geodetska uprava RS

MNOŽIČNI ZAJEM IN EVIDENCA STAVBNIH ZEMLJIŠČ – KONČUJE SE 7. FAZA



Slika 1: Izsek iz prostorskega prikaza podatkov o dejanski rabi poseljenih zemljišč in dokončane faze množičnega zajema poseljenih zemljišč (levo spodaj) na dan 3. 6. 2020.

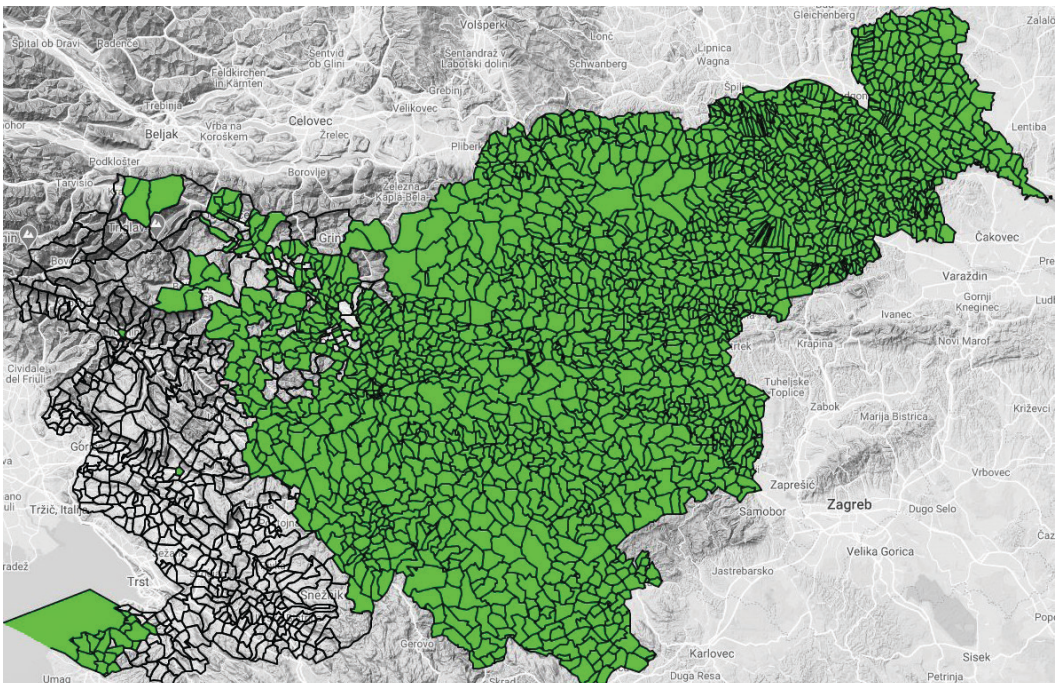
Množični zajem podatkov o poseljenih zemljiščih in prikaz dejanske rabe poseljenih zemljišč sta prva koraka pri vzpostavitvi tako imenovane evidence stavbnih zemljišč (ESZ). V juliju 2020 bo predvidoma

dokončana 7. faza zajema podatkov o stavbnih zemljiščih, to so območja osrednje Slovenije in primorsko-notranjske regije – skupno je predvidenih 11 faz. Množični zajem podatkov o poseljenih zemljiščih bo v skladu s časovnim načrtom za območje celotne Slovenije končan do 30. 6. 2021. Prva različica podatkov o poseljenih zemljiščih za območja, ki so bila vključena v prvih šest faz, občine že lahko prenesejo s spletne strani in začnejo pregledovati ter načrtovati nadaljnje dejavnosti pri vzpostavitvi ESZ, ki so opredelitev občine glede predloga podatkov o poseljenih zemljiščih in določitev razvojnih stopenj za nepozidana stavbna zemljišča (slika 1). Ministrstvo za okolje in prostor RS je v ta namen pripravilo smernice za občine, ki jim bodo v pomoč pri vzpostavitvi ESZ. Smernice so dostopne na spletni strani prostorskega informacijskega sistema pod razdelkom »Evidenca stavbnih zemljišč« (<http://www.pis.gov.si>).

Vir: eProstor in Geodetska uprava RS

IZVAJANJE OSME FAZE IZBOLJŠAVE ZEMLJIŠKOKATASTRSKEGA PRIKAZA

Izvedba projekta *Lokacijska izboljšava zemljiškokatastrskega prikaza*, ki je časovno umeščen od marca 2018 do oktobra 2020, poteka skladno s sprejetim časovnim načrtom. Operativna skupina Geodetske uprave RS, ki na podlagi podatkov iz evidence zemljiškega katastra in dodatno pridobljenih podatkov zunanjega izvajalca skrbi za izboljšavo po posameznih katastrskih občinah, bo do konca junija 2020 končala obdelavo podatkov za območja 8. faze. V okviru te faze bo lokacijsko izboljšan zemljiškokatastrski prikaz na območju 209 katastrskih občin, in sicer na območjih območne geodetske uprave Kranj ter geodetskih pisarn Radovljica in Škofja Loka.



Slika 1: Katastrske občine, v katerih je bila izboljšava ZKP že izvedena (junij 2020; vir: Geodetska uprava RS).

V celoti je izboljšava že predčasno dokončana na območjih geodetskih pisarn Murska Sobota, Lendava, Novo mesto, Črnomelj, Brežice, Sevnica, Krško, Trbovlje, Litija, Slovenj Gradec, Velenje, Mozirje, Slovenske Konjice, Slovenska Bistrica, Gornja Radgona, Ljutomer, Celje, Šentjur pri Celju, Šmarje pri Jelšah, Žalec, Domžale, Grosuplje, Ljubljana, Logatec, Kočevje, Maribor, Ptuj in dela geodetske pisarne Koper. Vseh obdelanih katastrskih občin na začetku junija 2020 je tako že 2250, kar pomeni 83 % vseh katastrskih občin (slika 1). Obdelava podatkov se nadaljuje na območju 9. faze (območje geodetskih pisarn Nova Gorica, Idrija, Ajdovščina in Tolmin), pripravlja pa se na zajem podatkov za območje 10. faze (območje geodetskih pisarn Koper, Sežana in Postojna). Rezultati lokacijske izboljšave se sprti vključujejo v evidenco zemljiškega katastra, tako v produkcijsko kot distribucijsko okolje.

Vir: eProstor in Geodetska uprava RS

SPLETNO IZOBRAŽEVANJE: INFORMACIJSKA PRENOVA NEPREMIČNINSKIH EVIDENC

Geodetska uprava RS bo v okviru projekta eProstor do konca leta 2021 prenovila nepremičninski informacijski sistem in vzpostavila enotno informacijsko rešitev, ki bo omogočala sodobno delovanje nepremičninskega sistema kot dela osnovne državne prostorske infrastrukture. Zaradi obsežnega prehoda na nov nepremičninski sistem je v okviru *Implementacije informacijske prenove* načrtovanih več izobraževanj za različne deležnike, ki so kakorkoli povezani z nepremičninskim sistemom. V juniju so na vrsti prva izobraževanja, na katerih bodo predstavljene aktivnosti v okviru prenove nepremičninskega sistema. Zaradi omejitev pri organizaciji dogodkov se je geodetska uprava prilagodila položaju in je v okviru projekta eProstor izvedla prvo spletno izobraževanje z naslovom Informacijska prenova nepremičninskih evidenc. Več o izobraževanjih lahko najdete na spletni strani projekta eProstor (<https://www.projekt.e-prostor.gov.si/>).

Vir: eProstor in Geodetska uprava RS

NOVICA FAKULTETE ZA GRADBENIŠTVO IN GEODEZIJO UNIVERZE V LJUBLJANI

MED ZMAGOVALNIMI TUDI IDEJA, NASTALA V SODELOVANJU UL FGG IN GI

Mestna občina Ljubljana s projektom Zunaj podpira lokalne pobude in ideje prebivalcev Ljubljane ter spodbuja njihovo povezovanje v soseskah. Projekt mestne občine Ljubljana je nastal v sodelovanju z društvom ProstoRož in Inštitutom za politike prostora (IPoP), pobudniki in izvajalci akcij pa so prebivalci Ljubljane. Letos so v okviru projekta izmed 57 prejetih pobud izbrali 15 zmagovalnih idej, ki jih bodo pomagali uresničiti. Med slednjimi je tudi zamisel, ki je nastala v sodelovanju med Fakulteto za gradbeništvo in geodezijo Univerze v Ljubljani in Geodetskim inštitutom Slovenije, in smo jo poimenovali *Vozlišče dobrih idej*.

Pobuda je nastala, ker v okolici fakultete močno primanjkuje prostorov na prostem, kjer bi se lahko družili študentje, zaposleni in tudi naključni mimoidoči. Na zelenici pred stavbo Fakultete za gradbeništvo in geodezijo na Jamovi cesti, kjer ima



Avtorica vizualizacije: Marina Lovrič



Mestna občina
Ljubljana

IPoP prostoroz*

prostore tudi Geodetski inštitut Slovenije, bomo zato uredili prostor za sprostitev, druženje in izmenjavo zamisli. Ideja mora biti izvedena do konca septembra, vsaka zmagovalna ponudba pa bo dobila tudi mentorja, ki bo pomagal z nasveti in strokovno podporo.

Veselimo se novega skupnega prostora, kjer se bomo lahko od septembra naprej družili ter si izmenjavali mnenja in zamisli.

Vir: Univerza v Ljubljani, Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo

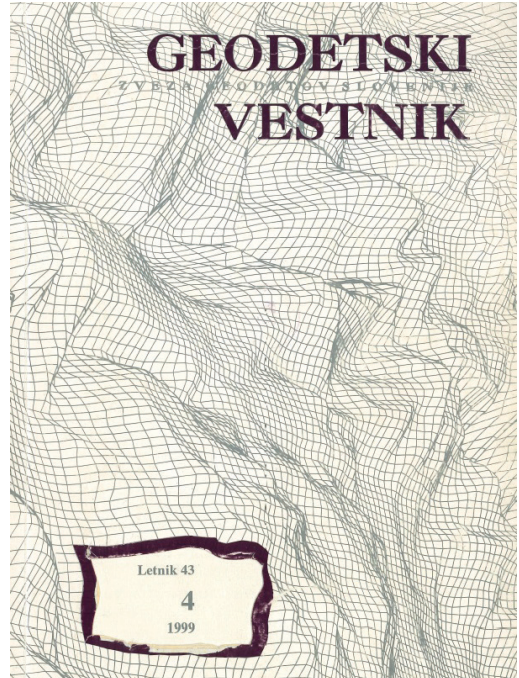
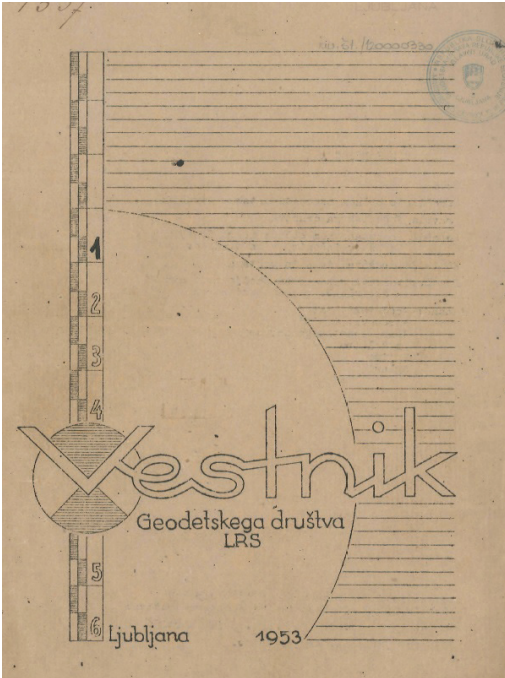
DRUŠTVENE NOVICE NEWS FROM SOCIETIES



NOVICA ZVEZE GEODETOV SLOVENIJE

DIGITALNI ARHIV GEODETSKEGA VESTNIKA OD LETA 1953!

Kot smo v preteklosti že poročali, sega izdaja prve številke Geodetskega vestnika, takrat imenovanega Vestnik, v daljno leto 1953. Z izjemami leta 1959 in v obdobju 1962–1964 revija izhaja redno, praviloma štiri številke na leto. Leta 1957 se je preimenovala v *Vestnik Društva geodetskih inženirjev in geometrov LRS Slovenije*, leta 1965 pa je spet začela izhajati pod imenom *Bilten Zveze geodetskih inženirjev in geometrov SR Slovenije*. Veliko prelomnico prinese leto 1973, ko se je revija preimenovala v *Geodetski vestnik*. Že *Bilten* je prerasel okvirje glasila zveze, novo ime strokovne geodetske revije pa je napovedovalo še več kakovostnih objav z vse širšega področja geodezije in upravljanja prostora.



Slika 1: Naslovna stran prve številke *Vestnika* iz leta 1953 (levo) in zadnje številke iz objavljene arhivske serije iz leta 1999 (desno).

V uredništvu Geodetskega vestnika smo se že pred časom odločili, da bralcem približamo tudi stare številke glasila, in sicer tako, da jih skeniramo in objavimo v digitalni različici. Delo je bilo res obsežno, a danes z veseljem sporočamo, da je celoten arhiv vestnikov, vključno s prvo številko iz leta 1953, na voljo v digitalni različici na spletni strani revije pod zavihkom »Arhiv« (angl. »Archive«), kjer je za posamezno številko na voljo tudi kazalo: http://www.geodetski-vestnik.com/arhiv/kazala_1953_1999.htm. Zapisi so res zanimivi in marsikdaj še vedno aktualni.

Ob tej priložnosti iskrena hvala Barbari Trobec in Klemnu Kozmusu Trajkovski za izjemno opravljeno prostovoljno delo! Obilo užitkov pri prebiranju vsebin!

Zapisa: Anka Liseč, za Zvezo geodetov Slovenije

e-naslov: anka.lisec@fgg.uni-lj.si



NOVICA LJUBLJANSKEGA GEODETSKEGA DRUŠTVA

26. TRADICIONALNO SREČANJE NA KRIMU

Tudi letos je naše tradicionalno srečanje ob obeležju koordinatnega izhodišča prve katastrske izmere na območju Slovenije minilo v prav posebnem ozračju. Lani, ko smo slavili petindvajset let, odkar je Ljubljansko geodetsko društvo (LGD) ob koči na vrhu Krima postavilo obeležje, je društvo ob visokem jubileju pripravilo slovesnost, na katero je povabilo vse slovenske geodete. Letošnje srečanje pa je bilo, v izrazitem nasprotju z opisano slovesnostjo, bolj spontane narave. Po tem, ko so zaradi grožnje z okužbo s koronavirusom oziroma boleznijo covid-19 aktivnosti dva meseca mirovale, je izvršni odbor društva v skladu s priporočili NIJZ oziroma veljavnimi ukrepi vlade Republike Slovenije na redni seji 25. maja 2020 soglasno sprejel naslednji sklep:



Sliki 1 in 2: Utrinka s Krima (Foto: Milan Brajnik in Miha Muck).

»26. tradicionalno srečanje geodetov ob obeležju na Krimu ne bo organizirano zaradi grožnje z okužbo s COVID-19. Člani IO bodo v ožjem sestavu obiskali obeležje in pozdravili eventualne člane društva, ki bi k obeležju dostopili individualno oziroma z družinskimi člani, društvo zagotovi prigrizek in napitke. Na spletu in z e-poštnim obveščanjem bo IO objavil neformalno vabilo oziroma najavo prisotnosti članov IO ob obeležju v soboto dne 6. 6. 2020 med 11.00 in 13.00.«

V navedenem terminu se je ob obeležju zbralo 36 članov društva, ki smo v prijetnem ozračju obujali spomine na dosedanje aktivnosti, pa tudi snovali nove podvige. Brez posebnih napovedi so bile uporabljene tradicionalne dostopne smeri:

1. POHOD (daljša različica), od Doma v Iškem vintgarju, pohod po gozdni markirani poti na vrh Krima, $\Delta h = 750$ m;
2. POHOD od križišča ceste Preserje–Rakitna in ceste na Krim, pohod po gozdni cesti na vrh Krima, $\Delta h = 300$ m;
3. KOLESARJENJE, ki običajno poteka od križišča ceste Preserje–Rakitna in ceste na Krim, kjer se začne vožnja po 8-kilometrski makadamski cesti na vrh Krima, pa je tokrat članica (sicer tradicionalna udeleženka) pričela kar v Ljubljani in končala neposredno ob točilnem pultu v sami koči (kamor smo se zatekli pred dežjem).

Izvršni odbor društva se trudi, da bi navkljub vrsti neznank in tudi dvomov zagotovil pogoje za nadaljevanje strokovno-družabnega dela. Udeleženci, ki so neorganizirano pristopili k sicer res uveljavljeni aktivnosti, so vsi po vrsti izražali zadovoljstvo ob ponovnem snidenju in tudi željo po skorajšnji izvedbi nadaljnjih srečanj. Razpoloženja ni pokvarila niti ploha, ki nas je prepodila pod dežnike in nadstreške, nekaj kapljic pa smo zapodili tudi po grlu z željo po zdravem nadaljevanju leta za vse nas!



Sliki 3 in 4: Udeleženci med živahnim klepetom (Foto: Miha Muck).

Novе aktivnosti so pred nami, člane pozivamo, da spremljajo obvestila na spletni strani društva in poštna sporočila, s katerimi društvo tradicionalno zanesljivo obvešča o novostih. Kmalu nasvidenje!

Zapisal: Milan Brajnik, predsednik društva, za Ljubljansko geodetsko društvo

e-naslov: milan.brajnik@gis.si

DIPLOMI IN MAGISTERIJI NA ODDELKU ZA GEODEZIJO UL FGG

OD 1. 2. 2020 DO 30. 4. 2020

MAGISTRSKI ŠTUDIJSKI PROGRAM DRUGE STOPNJE GEODEZIJA IN GEOINFORMATIKA

Ana Lončarič Izdelava realistične upodobitve gradu Mokrice in okolice

Mentor: doc. dr. Dušan Petrovič

Somentor: asist. dr. Klemen Kozmus Trajkovski

URL: <https://repozitorij.uni-lj.si/lzpisGradiva.php?id=114870>

Matic Planinšek Geodetski monitoring pomikov kontrolnih točk na pregradi zadrževalnika Vogršček

Mentor: izr. prof. dr. Tomaž Ambrožič

URL: <https://repozitorij.uni-lj.si/lzpisGradiva.php?id=115939>

Martina Rakuša Razvoj metode povezovanja grafičnih in opisnih podatkov o zemljiščih za vzpostavitev večnamenskega katastra

Mentorica: izr. prof. dr. Anka Lisec

Somentorja: doc. dr. Marjan Čeh, dr. Joc Triglav

URL: <https://repozitorij.uni-lj.si/lzpisGradiva.php?id=114955>

VISOKOŠOLSKI STROKOVNI ŠTUDIJSKI PROGRAM PRVE STOPNJE TEHNIČNO UPRAVLJANJE NEPREMIČNIN

Robi Dolenc Vzpostavitev nivelmanske mreže za spremljanje pomikov pri izgradnji objekta Šumi

Mentor: izr. prof. dr. Tomaž Ambrožič

Somentor: asist. Gašper Štebe

URL: <https://repozitorij.uni-lj.si/lzpisGradiva.php?id=114456>

Rok Jelenovič Analiza kakovosti zakoličevanja z uporabo GNSS

Mentor: prof. dr. Bojan Stopar

Somentor: doc. dr. Oskar Sterle

URL: <https://repozitorij.uni-lj.si/lzpisGradiva.php?id=114457>

Vir: Univerza v Ljubljani, Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo UL FGG
Za študijski referat: Teja Japelj

STRAN ZA POPRAVKE, ERRATA

GEODETSKI VESTNIK ŠT. 1, LETNIK 64

Stran z napako	Vrstica z napako	Namesto	Naj bo
5	19	Veton Hamza, Tomaž Ambrožič, Bojan Stopar	Veton Hamza, Bojan Stopar, Tomaž Ambrožič
68	3	Veton Hamza, Tomaž Ambrožič, Bojan Stopar	Veton Hamza, Bojan Stopar, Tomaž Ambrožič
68-88	Noga	Veton Hamza, Tomaž Ambrožič, Bojan Stopar DEFORMACIJSKA ANALIZA PO POSTOPKU CASPARY DEFORMATION ANALYSIS: THE CASPARY APPROACH 68–88	Veton Hamza, Bojan Stopar, Tomaž Ambrožič DEFORMACIJSKA ANALIZA PO POSTOPKU CASPARY DEFORMATION ANALYSIS: THE CASPARY APPROACH 68–88
78	21	Hamza V., Ambrožič T., Stopar B. (2020). Deformation Analysis: the Caspary Approach. Geodetski vestnik, 64 (1), 68–88.	Hamza V., Stopar B., Ambrožič T. (2020). Deformation Analysis: the Caspary Approach. Geodetski vestnik, 64 (1), 68–88.
88	4	Hamza, V., Ambrožič T., Stopar B. (2020). Deformacijska analiza po postopku Caspary. Deformation Analysis: the Caspary Approach	Hamza, V., Stopar B., Ambrožič T. (2020). Deformacijska analiza po postopku Caspary. Deformation Analysis: the Caspary Approach.



Zveza geodetov Slovenije in Ljubljansko geodetsko društvo najavljata nov termin izvedbe strokovnega posveta

48. Geodetski dan

z delovnim naslovom

Geodezija za kakovostne odločitve v prostoru in času,

ki bo v četrtek, 17. septembra 2020,
v prostorih Domus Medica na Dunajski cesti v Ljubljani.

V skladu s priporočili vlade RS in pozivom ministra za zdravje o odpovedi javnih prireditev v zaprtih prostorih je organizator odpovedal izvedbo 48. Geodetskega dneva v predvidenem marčevskem terminu! Nastop višje sile nam je narekoval odgovorno ravnanje in skrb za zdravje udeležencev, kar ostaja eno od osnovnih vodil našega delovanja!

Podrobnejše podatke o prireditvi še naprej spremljajte na spletnem mestu posveta www.geodetskidan.si.

Z nami ostajajo predavatelji in naši sponzorji, vsem se zahvaljujemo za podporo!

Vljudno vabljeni!

Predsednica programskega odbora
dr. Mihaela Triglav Čekada

Predsednik Zveze geodetov Slovenije
mag. Blaž Mozetič

Predsednik organizacijskega odbora
Milan Brajnik

The Association of Surveyors of Slovenia and the Ljubljana Surveyors Society announce the new term of performance of the

48th Slovenian Land Surveying Day

with the working title

Geodesy and Quality of Geospatial Data for Good Decision-making,

to be held on 17 September 2020,
at Domus Medica Congress Center in Ljubljana, Slovenia.

For more information, please visit the website www.geodetskidan.si.

The lecturers and our sponsors remain with us, and we thank everyone for their support.

You are cordially invited to attend.

Chair of the Programme Committee
Mihaela Triglav Čekada, PhD

President of the Association of
Surveyors of Slovenia
Blaž Mozetič, MS

President of the Organisation Committee
Milan Brajnik



PROGRAM / PROGRAMME

UVODNI POZDRAVI IN PLENARNA PREDAVANJA / WELCOME SPEECHES, PLENARY LECTURES

POZDRAVNI GOVORI / WELCOME SPEECHES

PLENARNI PREDAVANJI / PLENARY LECTURES - MODERATOR DOC. DR. MIHAELA TRIGLAV ČEKADA (GI)

Prelomne (geo)tehnologije in njihovi vplivi / Disruptive (geo)technologies and their impacts

Prof. Dr. **Joep Crompvoets** (EuroSDR in KU Leuven, Belgija / EuroSDR in KU Leuven, Belgium)

Nove tehnologije za boljše uporabnost uradnih prostorskih podatkov / New technologies for better usability of official geospatial data

Dr. Ing. **Markus Seifert** (Geodetska uprava Bavarske, Nemčija / Landesamt für Digitalisierung, Breitband und Vermessung, Bavaria, Germany)

PREDAVANJA II / LECTURES II - MODERATOR Peter Prešeren (GURS)

Korektna uporaba letalnikov v geodeziji / Correct application of UAVs in geodesy

Dr. **Dejan Grigillo**, dr. Dušan Petrovič, dr. Klemen Kozmus Trajkovski, dr. Tilen Urbančič, dr. Mojca Kosmatin Fras (UL Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo / University of Ljubljana, Faculty of Civil and Geodetic Engineering)

Nova evropska pravila v zvezi z uporabo brezpilotnih zrakoplovov / New European rules on unmanned aircraft Ana Hožič (Javna agencija za civilno letalstvo RS / Civil Aviation Agency Slovenia)

Vzpostavitev in vzdrževanje prostorskih letalskih podatkov in informacij / Establishment and maintenance of spatial aviation data and information

Primož Kete (Geodetski inštitut Slovenije / Geodetic Institute of Slovenia)

GeoBIM – izzivi za geodezijo in geoinformatiko / GeoBIM – challenges for surveying and geoinformatics

Alen Šraj (Igea d.o.o.), Jernej Tekavec, dr. Anka Liseč (UL Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo / University of Ljubljana, Faculty of Civil and Geodetic Engineering)

Koordinatni sistemi kot temelj za kakovostne odločitve v prostoru / Coordinate systems as a basis for good decision making in physical space

Mag. **Klemen Medved**, Sandi Berk (Geodetska uprava Republike Slovenije / Surveying and Mapping Authority of the Republic of Slovenia), dr. Božo Koler, dr. Oskar Sterle, dr. Bojan Stopar (UL Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo / University of Ljubljana, Faculty of Civil and Geodetic Engineering)

PREDAVANJA III / LECTURES III - MODERATOR doc. dr. Alma Zavodnik Lamovšek (UL FGG)

Modeli vrednotenja 2020 / Valuation Models 2020

Mag. **Martin Smodiš** (Geodetska uprava Republike Slovenije / Surveying and Mapping Authority of the Republic of Slovenia)

Funkcionalne regije v Sloveniji / Functional regions in Slovenia

Dr. **Samo Drobne** (UL Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo / University of Ljubljana, Faculty of Civil and Geodetic Engineering)

Uporaba ocene zmogljivosti komunalne infrastrukture pri pripravi prostorskih aktov / Using the estimated capacity of municipal infrastructure in the drafting of spatial planning acts

Ajda Kafol Stojanović (Geodetski inštitut Slovenije / Geodetic Institute of Slovenia), dr. Daniel Kozelj, dr. Maruška Šubic Kovač (UL Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo / University of Ljubljana, Faculty of Civil and Geodetic Engineering)

eGraditev / eConstruction

Jurij Mlinar, Jan Brezec, dr. Nikolaj Šarlah (Ministrstvo za okolje in prostor RS / Ministry of the Environment and Spatial Planning), Martina Strniša (Geodetska uprava Republike Slovenije / Surveying and Mapping Authority of the Republic of Slovenia)

Evidentiranje nepremičnin – novi predpisi in informacijske rešitve / Real estate registration – new regulations and information solutions

Mag. **Emo Pogorelnik**, Franc Ravnihar (Geodetska uprava Republike Slovenije / Surveying and Mapping Authority of the Republic of Slovenia)

GEODETSKI DAN 48

ORGANIZACIJO SO PODPRLI SPONZORJI



GEODETSKA DRUŽBA

GENERALNI



ZLATI



SREBRNI



BRONASTI



SPONZOR



■ Authorized **Leica Geosystems** Distributor

1993 - 2018



30 let
40 mio parcel v produkciji
4 države

30 years
40 mio cadastral parcels in production
4 countries

Upravljajmo s prostorom SKUPAJ

Let's manage e-spatialy TOGETHER

www.igea.si

ŠE NEKAJ
PROSTIH
VPISNIH MEST

Mednarodno
PRIZNANA
diploma

PRIHODNOST JE TREBA ŠE ZGRADITI

GRADBENIŠTVO, OKOLJSKO GRADBENIŠTVO IN GEODEZIJA
SKOZI CELOTNO ZGODOVINO ČLOVEŠTVA PREMKAJO MEJE ZNANEGA.
PRIHODNOST PRINAŠA TRAJNOSTNE IZZIVE NA ZEMLJI IN NOVE V VESOLJU.

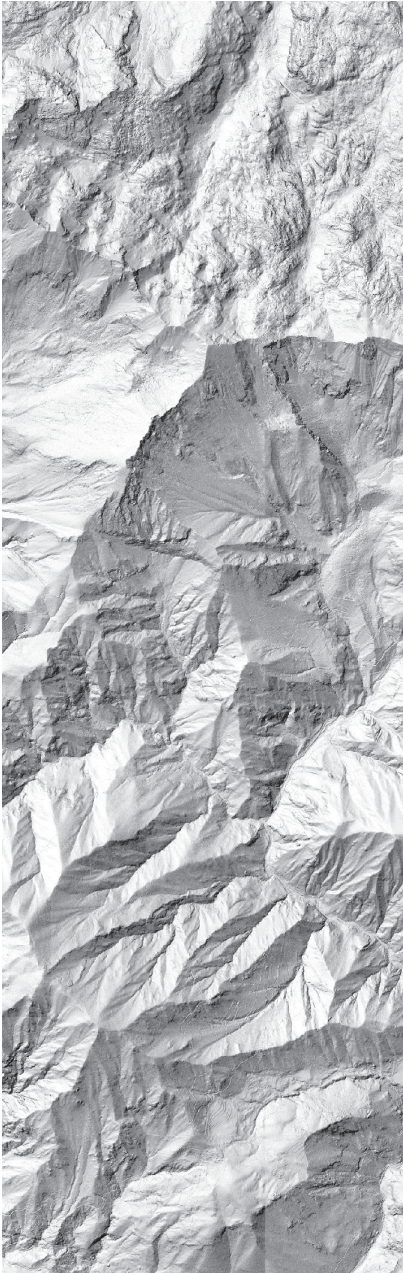
BOŠ ZRAVEN, KO SE BO GRADILA PRIHODNOST?

Vpiši se na Fakulteto za gradbeništvo in geodezijo
Univerze v Ljubljani z mednarodno priznano diplomom.

**Fakulteta redno izvaja bolonjske študijske
programe I., II. in III. stopnje!**

Univerza v Ljubljani
Fakulteta *za gradbeništvo in geodezijo*





Podoba analitičnega senčenja DMR1
Laserskega skeniranja Slovenije 2014-2015

GEODETSKI INŠTITUT SLOVENIJE

- Geodetski referenčni sistem, SIGNAL
- Prostorski podatki, statistike in analize
- Nepremičninske evidence in upravljanje z nepremičninami
- Daljinsko zaznavanje, fotogrametrija in lasersko skeniranje
- Hidrografija
- Kartografija
- Geografski informacijski sistemi (GIS)
- Lokacijske storitve in navigacija
- Izdelki za orientacijo in mobilnost ranljivih skupin
- Razvoj kazalnikov in večrazsežna vizualizacija
- Priprava in vodenje mednarodnih projektov
- Izobraževanje
- Izdelava prostorskih maket
- Grafične storitve

Geodetski inštitut Slovenije, Jamova cesta 2, 1000 Ljubljana
tel.: 01 200 29 00, faks: 01 425 06 77, e-pošta: info@gis.si
medmrežje: www.gis.si

Spoštovani,
obveščamo vse deležnike, **da je delo s strankami** na lokacijah GI na Jamovi cesti 2 in Zemljemerski ulici 12 v Ljubljani **za čas grožnje z okužbo s koronavirusom COVID-19 omejeno na telefonsko komunikacijo in poslovanje preko spleta**. Dosegljivi smo na telefonski številki 01 200 29 00 in e-naslovu info@gis.si .



G E O D E T S K I

2020 V E S T N I K

Geodetski vestnik je odprtodostopna revija, ki izhaja štirikrat letno v tiskani in spletni različici. V *Geodetskem vestniku* objavljamo recenzirane znanstvene in strokovne članke, pregledne članke, strokovne razprave ter druga podobna dela s področij geodezije, geodetske izmere, daljinskega zaznavanja, fotogrametrije, geoinformatike, prostorske podatkovne infrastrukture in prostorskega podatkovnega modeliranja, sistemov v podporo odločanju v prostoru, upravljanja zemljišč in prostorskega planiranja. Kot glasilo *Zveze geodetov Slovenije* objavljamo tudi novice v geodetski stroki, kar vključuje novice državne geodetske uprave, novice nacionalnih in mednarodnih strokovnih združenj, poročila o projektih in dogodkih, sporočila članom zveze in podobne zapise.

Več informacij o reviji in navodila za pripravo prispevkov najdete na spletni strani revije www.geodetski-vestnik.com.

Geodetski vestnik is an open access journal, issued quarterly in print and online versions. It publishes double-blind peer-reviewed academic and professional articles, reviews, discussions, and related works from the fields of geodesy, land surveying, remote sensing, photogrammetry, geoinformatics, spatial data infrastructure and spatial data modelling, spatial decision support systems, land management, and spatial planning. As the bulletin of the *Association of Surveyors of Slovenia*, the journal also publishes news in the surveying profession, including news from the surveying and mapping authority of Slovenia, news from national and international professional societies, reports on projects and events, communications to members, and similar reports.

More information about the journal and instructions for authors is available at www.geodetski-vestnik.com.



GEODETSKI VESTNIK

ISSN 0351-0271 | EISSN 1581-1328 |

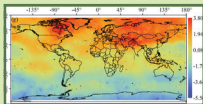
| letn./Vol. 64 | št./No. 2 | str./pp. 157–290 |



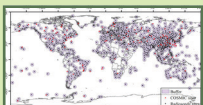
RECENZIRANI ČLANKI | PEER-REVIEWED ARTICLES

Danijel Majcen

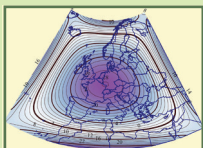
VZPOSTAVITEV PASIVNE KONTROLNE GNSS-MREŽE V SLOVENIJI
CREATION OF A PASSIVE GNSS CONTROL NETWORK IN SLOVENIA



Nedim Tuno, Simona Savšek, Admir Mulahusić, Dušan Kogoj
ELEKTRONSKI TEODOLITI – RAZVOJ IN KLASIFIKACIJA
ELECTRONIC THEODOLITES – DEVELOPMENT AND CLASSIFICATION



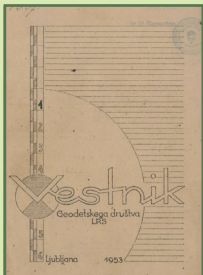
Berkant Konakoğlu
ANALIZA DEFORMACIJE JEZU Z ROBUSTNIMI UTEŽNIMI FUNKCIJAMI
ANALYSIS OF DAM DEFORMATION WITH ROBUST WEIGHT FUNCTIONS



Ivan Nestorov, Milan Kilibarda, Dragutin Protić
OPTIMALNA KONFORMNA PROJEKCIJA ZA VSEEVROPSKO KARTIRANJE
THE OPTIMAL CONFORMAL PROJECTION FOR PAN-EUROPEAN MAPPING



Shaoqi Gong, Cunjie Zhang, Geshi Tang, Yehui Zhang, Jing Han
Globalna analiza atmosferskih refrakcijskih profilov iz prekrivanj
radijskih signalov COSMIC GPS
GLOBAL ANALYSIS OF ATMOSPHERIC REFRACTIVITY PROFILES FROM COSMIC
GPS RADIO OCCULTATION SOUNDINGS



Dostopno na | available at: <http://www.geodetski-vestnik.com>