

GEODETSKI VESTNIK

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



Letnik 64, št. 1, str. 1–156, Ljubljana, marec 2020. Izidejo štiri številke na leto.

Naklada te številke: 1200 izvodov.

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

Vol. 64, No. 1, pp. 1–156, Ljubljana, Slovenia, March 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

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

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

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

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

dr. Bojan Stopar, področni urednik za *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 Bašić (Univerza v Zagrebu, Fakulteta za geodezijo, Zagreb, Hrvaška)

Sandi Berk (Geodetska uprava RS, Ljubljana, Slovenija)

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

Božo Koler, Ph.D., field editor for Engineering Geodesy

Mojca Kosmatin Fras, Ph.D., field editor for Photogrammetry

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 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 Bašić, Ph.D. (University of Zagreb, Faculty of Geodesy, Zagreb, Croatia)

Sandi Berk (Surveying and Mapping Authority of the Republic of Slovenia, Ljubljana, Slovenia)

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 Crompvoets (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 Mjøs, 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>	V SENCI IN THE SHADOW	7
<i>Blaž Mozetič</i>	SAMOZAŠČITA NI SAMOIZOLACIJA SELF-PROTECTION IS NOT SELF-ISOLATION	11

RECENZIRANI ČLANKI | PEER-REVIEWED ARTICLES

<i>Samo Drobne</i>	KAKOVOST FUNKCIONALNE REGIONALIZACIJE PO METODAH CURDS IN INTRAMAX NA MAKRO RAVNI: ŠTUDIJA PRIMERA ZA SLOVENIJO THE QUALITY OF FUNCTIONAL REGIONALISATION BY USING CURDS AND INTRAMAX METHODS AT THE MACRO LEVEL: A CASE STUDY FOR SLOVENIA	13
<i>Klemen Medved, Klemen Kozmus Trajkovski, Sandi Berk, Bojan Stopar, Božo Koler</i>	UVEDBA NOVEGA SLOVENSKEGA VIŠINSKEGA SISTEMA (SVS2010) IMPLEMENTATION OF THE NEW SLOVENIAN HEIGHT SYSTEM (SVS2010)	33
<i>Sandi Berk, Oskar Sterle, Klemen Medved, Bojan Stopar</i>	ETRS89/D96-17 – REZULTAT GNSS-IZMERE EUREF SLOVENIJA 2016 ETRS89/D96-17 – A RESULT OF THE EUREF SLOVENIA 2016 GNSS CAMPAIGN	43
<i>Veton Hamza, Tomaž Ambrožič, Bojan Stopar</i>	DEFORMACIJSKA ANALIZA PO POSTOPKU CASPARY DEFORMATION ANALYSIS: THE CASPARY APPROACH	68
<i>Richard Walters, Nadja Zupan Hajna</i>	3D-LASERSKO SKENIRANJE NARAVNIH JAM: PRIMER ŠKOCJANSKIH JAM 3D LASER SCANNING OF THE NATURAL CAVES: EXAMPLE OF ŠKOCJANSKE JAME	89

STROKOVNE RAZPRAVE | PROFESSIONAL DISCUSSIONS

<i>Joc Triglav</i>	KARTA VEKTORJEV KOT KARTICA ZAUPANJA MAP OF VECTORS AS A TRUST CARD	105
--------------------	--	-----

<i>Katja Šušteršič, Luka Kocijančič</i>	114
USMERITVE ZA ZAJEM, ODDAJO IN KONTROLO KAKOVOSTI PODATKOV ZRAČNEGA LASERSKEGA SKENIRANJA	
GUIDELINES FOR DATA ACQUISITION, DELIVERY AND QUALITY CONTROL OF AERIAL LASER SCAN DATA	
<i>Andrej Kerin, Marko Mesarič</i>	122
IZDELAVA 3D-MODELA ZA VIZUALIZACIJO TERASE VINOTEKE NA LJUBLJANSKEM GRADU S 3DSURVEY	
3D MODEL DEVELOPMENT FOR VISUALISATION OF WINE BAR'S TERRACE AT THE LJUBLJANA CASTLE WITH 3DSURVEY	
<i>Mihaela Triglav Čekada, Miran Kuhar, Bojan Stopar, Polona Vreča</i>	127
25-LETNICA SPREJEMA SLOVENSKEGA ZDRUŽENJA ZA GEODEZIJO IN GEOFIZIKO (SZGG) V MEDNARODNO ZVEZO ZA GEODEZIJO IN GEOFIZIKO (IUGG)	
25 TH ANNIVERSARY OF THE SLOVENIAN ASSOCIATION OF GEODESY AND GEOPHYSICS MEMBERSHIP IN THE INTERNATIONAL UNION OF GEODESY AND GEOPHYSICS	
NOVICE IZ STROKE NEWS FROM THE FIELD	131
DRUŠTVENE NOVICE NEWS FROM SOCIETIES	141
RAZNO MISCELLANEOUS	143
DIPLOMA IN MAGISTERIJA NA ODDELKU ZA GEODEZIJO UL FGG, OD 1. 11. 2019 DO 31. 1. 2020	
SEZNAM RECENZENTOV ZNANSTVENIH IN STROKOVNIH ČLANKOV V LETU 2019	
NAPOVED GEODETSKEGA DNE	

Slike na naslovnici:

Del načrta Škocjanskih jam (arhiv IZRK ZRC SAZU); stojšče skenerja v Hankejevem kanalu na 40 cm široki poti nad Reko (foto M. Burkey); fotografija (foto M. Burkey) in oblak točk Ponvic prikazan v CloudCompare programu.

V SENCI IN THE SHADOW

*Anka Lisec**glavna in odgovorna urednica | Editor-in-chief*

V teh dneh so mnoge uspehe in dogodke v naši stroki pa tudi na sploh v družbi zasenčile izredne razmere zaradi koronavirusa, katerega izvor in posledice so v trenutku, ko pišem ta uvodnik, še vedno zelo nejasne. Načrtovani zelo optimističen uvodnik je torej nekoliko zasenčila epidemija oziroma pandemija, saj se je virus razširil na tako rekoč vse celine sveta.

Ob tem mi je misel zašla na letalski polet v oblačnih, turobnih dneh, ko sončne žarke zastirajo oblaki in na Zemljo padajo velike sence, nad oblaki pa nas vedno pozdravi prelepo Sonce! Tako predlagam, da se, če se le da, osredotočimo na dobre stvari, ki vlivajo optimizem.

Pred nami je prva številka Geodetskega vestnika letnika 2020, ki ponuja zanimive vsebine za širši strokovni krog – pa naj bodo to recenzirani strokovni članki, strokovne razprave ali pa novice iz stroke in društev. V prvih mesecih tega leta je sicer zaznati nekaj zatišja pri delovanju društev. Razlog velja iskati v dejstvu, da smo vsi pričakovali osrednji geodetski dogodek v Sloveniji, to je Geodetski dan, ki pa je bil v začetku marca zaradi izrednih razmer odpovedan. Dobra novica je, da so se predavatelji in sponzorji uskladili glede novega termina: Zveza geodetov Slovenije in Ljubljansko geodetsko društvo tako vabita na 48. Geodetski dan, ki bo v četrtek, 17. septembra 2020, v domu Medica v Ljubljani.

Skoraj neopazno nas je v teh dneh zaobšel svetovni dan geodetov, ki ga od leta 2018 zaznamujemo 21. marca. Mnogi ste najverjetneje tudi spregledali novico, povezano z izrednim uspehom slovenskih raziskovalcev na področju vesoljskih tehnologij in daljinskega zaznavanja. Mikrosatelit NEMO-HD je že 17. februarja prispel na izstrelišče Kourou v Francoski Gvajani, od koder naj bi bil 23. marca izstreljen v orbito. Na raketi, ki bi sicer ponesla več satelitov v vesolje, bi mu družbo delal še en slovenski satelit, to je nanosatelit TRISAT, ki je prav tako preстал vse teste za izstrelitev. Toda zaradi že omenjene pandemije smo zaenkrat ostali pred zaprtimi vrati izstrelišča, a v upanju, da bosta satelita uspešno lansirana v orbito v jeseni! Gre za prva slovenska satelita, ki sta že sedaj pomembna promotorja slovenskih tehnoloških dosežkov na svetovni ravni.

Hote ali nehotе smo se vrnili na danes najaktualnejšo temo – koronavirus. Izredne razmere zahtevajo veliko prilagoditev v zasebnem in poslovnem življenju. Najverjetneje pa te razmere zahtevajo tudi dober premislek, kaj sploh je pomembno v življenju. Kar naenkrat so izginile skrbi, nervoza in naglica, s katerimi smo se še pred kratkim srečevali v vsakdanjiku. Na prvo mesto smo postavili zdravje, solidarnost in

predvsem človečnost. Skoraj vsi se bomo iz te nenadne izkušnje nekaj naučili in morda kaj spremenili v svojem življenju, v odnosu do narave, družbe, nas samih? Prav je, da zremo naprej z optimizmom.

Ker domnevam, da bo te vrstice bralo nekoliko več posameznikov kot po navadi, naj konec uvodnika izkoristim za že večkrat izrečeno povabilo k soustvarjanju naše skupne revije. Mnogo je možnosti za sodelovanje, pa naj bodo to predlogi za vsebinske in tehnične spremembe, avtorstvo prispevkov, ali pa sodelovanje kot recenzenti, souredniki!

Ob tej priložnosti iskrena hvala vsem, ki ste svoj dragoceni čas že namenili vestniku, naša vrata pa so vedno odprta tudi novim sodelavcem – dobrodošli!

Numerous achievements and events in our profession, as well as in society as a whole, have taken place in the shadow of the corona virus emergency. The source and consequences of the disease remain highly uncertain at the moment I am writing this editorial. All the plans to fill it with optimism was overshadowed by the epidemic, one could say “pandemic”, as the virus has spread globally, across all continents.

Recent events evoked an image of a plane flight on a cloudy, grim day when clouds are preventing sun rays from reaching us, and the Earth is covered with large shadows. Climbs above the clouds, we are greeted by the beautiful Sun! That is why I would suggest focusing on good things that give us a sense of optimism.

The first issue of *Geodetski vestnik* in 2020, offers interesting reading for wider professional circles – ranging from peer-reviewed articles, professional discussions, to news from the field and societies. It seems that the latter were not so active in the first months of the year. Perhaps the reason is the central event in the field of land surveying in Slovenia, that is the Land Surveying Day, which was cancelled at the beginning of March due to the current emergency. The good news is that lecturers and sponsors managed to agree on a new date: so *The Association of Surveyors of Slovenia* and *the Ljubljana Surveyors Society* are inviting you to attend the 48th Land Surveying Day that will take place on 17th September 2020 at Domus Medica Congress Centre in Ljubljana.

The Global Surveyors Day, which has been celebrated on 21st March since 2018, passed almost unnoticed. Many of you have likely overlooked the news connected with the extraordinary success of Slovene researchers in the field of space technologies and remote sensing. The microsatellite NEMO-HD reached the launch site Kourou in French Guiana back on 17th February, from where it was supposed to be launched into orbit on 23rd March. The rocket that should have taken several satellites into space was to be accompanied by another Slovene satellite: the nanosatellite TRISAT that has also passed all the launching tests. However, the above-mentioned pandemic was the cause that we remained in front of the closed door of the launch site, of course, full of hope that the satellites will be successfully launched into orbit in autumn. These are *the first two Slovene satellites*: prominent global heralds of Slovene technological advancements.

Like it or not, this brings us back to the major theme of these days – the corona virus. Emergencies like this call for numerous adjustments, whether it is our personal or business lives. It is most likely that the circumstances call for a thorough consideration of what is essential in our lives. All the worries, pressures, and haste that dictated our days not so long ago are suddenly gone. Health, solidarity, and, above all, humanity have become dominant factors. Almost everybody will be able to learn a lesson from this unusual experience, and will be able to bring a change into their lives, into their attitude towards nature, the society, ourselves? It is only fitting that we look to the future with optimism!

Presuming that these lines will be read by more individuals than usual, let me take this opportunity to repeat my invitation to you to contribute to the publication of our journal. There is plenty of opportunities for cooperation, be they suggestions for thematic and technical changes, the authorship of contributions or collaboration as peer reviewers, or co-editors.

I would also like to thank everybody who has already devoted their precious time to the journal. And, again, our door is always open for new contributors – welcome!

SAMOZAŠČITA NI SELF-PROTECTION IS NOT SAMOIZOLACIJA SELF-ISOLATION

Blaž Mozetič

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

Tako dolgo sem odlašal s pisanjem uvodnika za Geodetski vestnik, da me je prehitela epidemija koronavirusa in z njo povezano krizno dogajanje. Ali je to dobro ali slabo za sam uvodnik, bom oziroma bomo lahko ugotavljali šele čez čas. Ampak če sem pošten, tudi takšne krizne razmere ponujajo številne priložnosti in iztočnice za vsebinska izhodišča uvodnika, seveda ob upoštevanju vseh usmeritev in navodil pristojnih zaradi preprečevanja širjenja okužb.

V tem času sta postali zelo priljubljeni besedi samozaščita in samoizolacija, ki sta dodobra napolnili naš vsakdan in razburkali prostor okrog nas. Nekateri se ukvarjajo s težavo delo od doma ali delo na domu, drugi pa z veliko hujšo težavo, kje delo sploh je. Kot navajajo pristojni, je položaj resen in ga je treba obravnavati z veliko odgovornosti do sebe in drugih. Vendar sedaj, ko se je morebiti na določenih področjih dnevna delovna vročica nekoliko ohladila, razmišljujemo geodetu njegove zdrave možganske sive celice ne dajo miru.

Organizatorji Geodetskega dneva 2020 smo s tem, da smo odpovedali in prestavili izvedbo Geodetskega dneva na čas, ko se bodo zadeve umirile, ravnali samozaščitno, obenem pa ne samoizolacijsko, kajti samoizolacija stroke ni dobra niti za samo stroko niti za njene sopotnike in spremljevalce. Razumem, da Geodetski stan gleda z veliko občutka in ljubezni na svojo stroko in bi jo rad, upam, da z dobrimi nameni, zaščitil pred nerazumnimi vpadi drugih strok na njeno domače dvorišče. Emocionalno gledano je samozaščita smiselna, vendar lahko v nadaljevanju vodi tudi v samoizolacijo, kar pa je najbrž vsem iz razumskega vidika jasno, da je to na dolgi rok za stroko pogubno. Zato so mogoče primerni samo drugi pristopi, kot so samopromocija, samoiniciativnost ...

Geodetska stroka je že dolgo neločljivi del družbe in njenega razvoja. Oba se prilagajata, spreminjata, napredujeta in ustvarjata skupaj ter se ne nazadnje tudi skupaj odzivata na takšne ali drugačne »vire«, ki jima strežejo po zdravju. Zdrava družba in geodetska stroka, v obeh se pojavlja človek-geodet, omogočata izpolnjevanje pričakovanj, da sta vzdržna rast in razvoj, če hočete obstoj, mogoča za vse.

Se vidimo 17. septembra 2020 na Geodetskem dnevu 2020. Drugi poskus.

Ostanite zdravi in srečno!

I have postponed my writing of the editorial for *Geodetski vestnik* for so long that coronavirus epidemic, with all the resulting emergency measures, caught up with me. Only time will tell if that was good or bad for the editorial itself. To be fair, extreme circumstances create excellent opportunities and sources for the content of an editorial, of course, taking into consideration all the guidance and instruction of the authorities aimed to prevent the spread of infections.

Expressions self-protection and self-isolation appear to be gaining in popularity. They have become omnipresent in our lives and caused considerable commotion in our environments. Some people are coping with the problem of working from home, while others are faced with a much more serious dilemma: how to find work in the first place. According to the authorities, the situation is severe and has to be confronted with great responsibility towards oneself and others. And in these times, when the 'fever' of working lives has subsided in some fields, the mind of the thinking surveyor cannot rest still.

Organisers of the 2020 Land Surveying Day have cancelled the event and plan to have it when the situation is expected cool down. The decision was self-protective, while not self-isolative, because it is not good for a profession to go into self-isolation – the same being true for its fellow travellers and followers. I understand that the Land Surveying Day treats its field with a great deal of sensitivity and love and would like to, I hope as an act of goodwill, to protect it from irrational intrusions from other professions. Emotionally, self-protection makes sense, but it can also lead to self-isolation, which is arguably lethal for a profession in the long term. That is why other approaches, like self-promotion and self-initiative, might be only appropriate.

Land surveying has been an inseparable part of society and its development for a long time. Both are adapting, changing, developing, both are creating hand in hand; they also react to different "viruses" that attack their health. A healthy society and a healthy land-surveying profession, both including individual land surveyors, make it possible for the expectations to be fulfilled, they both make sustainable growth and development – one could say existence – to be possible for everybody.

See you at the 2020 Land Surveying Day on 17th September 2020. The second attempt.

Stay healthy and good luck!

KAKOVOST FUNKCIONALNE REGIONALIZACIJE PO METODAH CURDS IN INTRAMAX NA MAKRO RAVNI: ŠTUDIJA PRIMERA ZA SLOVENIJO

THE QUALITY OF FUNCTIONAL REGIONALISATION BY USING CURDS AND INTRAMAX METHODS AT THE MACRO LEVEL: A CASE STUDY FOR SLOVENIA

Samo Drobne

UDK: 314.15:911.6:(497.4)
Klasifikacija prispevka po COBISS.SI: 1.01
Prispelo: 27. 1. 2020
Sprejeto: 11. 3. 2020

DOI:10.15292/geodetski-vestnik.2020.01.13-32
SCIENTIFIC ARTICLE
Received: 27. 1. 2020
Accepted: 11. 3. 2020

IZVLEČEK

V prispevku analiziramo kakovost funkcionalne regionalizacije Slovenije na ravni osmih in dvanajstih (funkcionalnih) regij. Funkcionalne regije smo modelirali s povprečnimi letnimi tokovi delovne mobilnosti med občinami Slovenije v obdobju 2015–2018 z metodama CURDS in Intramax. Rezultate smo primerjali s sistemoma dvanajstih statističnih in osmih makroregij v Sloveniji. Kakovost funkcionalne regionalizacije smo analizirali s popravljeno metodo izračuna mehkih vrednosti pripadnosti osnovnih prostorskih enot k (funkcionalni) regiji. Rezultati študije primera za Slovenijo kažejo visoko stopnjo kakovosti funkcionalne regionalizacije osmih makro regij.

ABSTRACT

In this paper we analyse the quality of the functional regionalisation of Slovenia at the level of eight and twelve (functional) regions. The functional regions were modelled with average annual labour commuting flows between Slovenian municipalities in the years 2015–2018 using the CURDS and Intramax methods. The results were compared with the systems of twelve statistical and eight macro-regions in Slovenia. The quality of functional regionalisation was analysed using a revised method for calculating the fuzzy values of the affiliation of the basic spatial units to the (functional) region. The results of a case study for Slovenia show a high quality level of functional regionalisation of eight macro-regions.

KLJUČNE BESEDE

funkcionalne regije, kakovost funkcionalne regionalizacije, mehke vrednosti, CURDS, Intramax, delovna mobilnost, Slovenija

KEY WORDS

functional regions, quality of functional regionalisation, fuzzy values, CURDS, Intramax, labour commuting, Slovenia

1 UVOD

V analizah gospodarskega, družbenega, okoljskega in prostorskega razvoja ter za sprejemanje razvojnih odločitev se vse pogosteje uveljavlja zamisel funkcionalno povezanih in samovzdržnih območij, ki jim pravimo funkcionalne regije (FR). FR so funkcionalno sklenjena območja, ki temeljijo na horizontalnih odnosih v prostoru v obliki prostorskih tokov in medsebojnih odnosov (interakcij) med deli regije (Ullman, 1980). Funkcionalna regionalizacija je postopek združevanja osnovnih prostorskih enot (OPE) v FR s ciljem posplošitve funkcionalnih tokov in odnosov v prostoru. Zato FR razumemo tudi kot območja posplošenih vzorcev tokov in odnosov v prostoru – najpogosteje kot posplošitev družbenih in gospodarskih funkcionalnih povezav na nekem ozemlju. FR je torej sistem (močno) povezanih večjih in/ali manjših OPE. V analizi FR nas ne zanimajo geografske danosti in zgodovinske povezave, temveč se usmerjamo predvsem na funkcionalno povezanost prostora, ki jo obravnavamo prek različnih tokov v prostoru (Vanhove in Klaassen, 1987).

Na pomembnost obravnave FR že dolgo opozarjajo številni raziskovalci, na primer Green in Coombes (1985), Tomaney in Ward (2000), Andersen (2002), Van der Laan in Schalke (2001), Cörvers in sod. (2009), Casado-Díaz in Coombes (2011) ter drugi. To je tudi razlog, da sta tako OECD (2002) kot Eurostat (Coombes in sod., 2012) preučila obravnavo in uporabo FR po državah članicah. Izkazalo se je, da članice OECD in Eurostata različno obravnavajo in uporabljajo koncepte FR (Coombes in sod., 2012). Na podlagi Eurostatove študije pa je vseeno mogoče ugotoviti, da v Evropi najpogosteje analiziramo FR na podlagi tokov delovne mobilnosti (dnevne in druge vožnje na delo), med najpogosteje uporabljenim pristopom modeliranja FR pa se zadnja leta vse bolj uveljavlja pristop večstopenjskega združevanja OPE v FR po metodi CURDS, ki je bila prvotno razvita leta 1986 (Coombes in sod., 1986), kasneje pa večkrat posodobljena; zadnja posodobitev je bila izvedena v letu 2008 (Coombes in Bond, 2008).

Vanhove in Klaassen (1987) opredeljujeta FR kot smiselno delujočo prostorsko celoto, sestavljeno iz gospodarsko in družbeno povezanih območij. V takšni skupini povezanih območij nastajajo številne družbene in gospodarske interakcije, medsebojni vplivi tokov ljudi, tokov blaga in storitev, komunikacijskih tokov, prometnih tokov, finančnih tokov idr. Podobno Johansson (1998) ter Karlsson in Olsson (2006) opredeljujejo FR kot območje z visoko frekvenco notranjih regionalnih gospodarskih interakcij, kot so delovna mobilnost ter regionalna trgovina dobrin in storitev, ter kot območje strnjene dejavnosti in prometne infrastrukture, ki omogoča veliko mobilnost ljudi, proizvodov in informacij. Pri študiji FR je torej mogoče obravnavati različne tokove, od tokov prebivalstva (dnevna mobilnost v šolo in na delo, stalne selitve, nakupovanje in rekreacija), prometnih tokov in tokov dobrin (prometni in potniški tokovi po kopnem, morju in zraku), tokov blaga, finančnih tokov, informacijskih tokov (komunikacije in časopisna naklada), tokov plina/vode/elektrike (priključki na storitve) in drugih tokov oziroma interakcij v prostoru (Vanhove in Klaassen, 1987; Alvanides, Openshaw in Duke-Williams, 2000; Drobne, 2017). Poleg razpoložljivosti in dostopnosti podatkov je sama obravnavo podatkov o prostorskih interakcijah odvisna predvsem od namena študije FR. V literaturi zasledimo zelo različna področja obravnave FR; od analiz trga dela ter drugih družbenogospodarskih vidikov, analiz funkcionalnih urbanih regij (FUR), analiz administrativnih, planskih in statističnih regij, analiz statističnih funkcionalnih območij na mikro ravni, analiz lokalnega in regionalnega stanovanjskega trga za podporo stanovanjski politiki, analiz trga blaga, analiz FR za podporo v transportni in prometni politiki, analiz za podporo informacijsko-komunikacijski tehnologiji in drugim storitvam v prostoru; podrobneje o tem piše Drobne (2016, 2017).

V tej študiji smo modelirali in vrednotili (funkcionalne) regije na makro ravni Slovenije. Modeliranje FR smo izvedli s tokovi delovne mobilnosti med občinami po dveh, splošno uveljavljenih, pristopih funkcionalne regionalizacije: po pristopu večstopenjskega združevanja OPE v FR, po metodi CURDS (Coombes in Bond, 2008), ter po pristopu hierarhičnega združevanja OPE v FR, po metodi Intramax (Masser in Brown, 1975). Kakovost funkcionalne regionalizacije smo vrednotili z lastno nadgradnjo pristopa mehkih vrednosti pripadnosti OPE k FR, kot sta ga razvila in preizkusila Feng (2009) in Watts (2009, 2013). Modelirali in vrednotili smo sisteme FR, primerljive dvanajstim statističnim regijam (SURs, 2019a) ter osmim makro regijam Slovenije (Plut, 1999, 2004).

2 PREGLED LITERATURE

V literaturi je mogoče zaslediti različne metode modeliranja FR, ki jih v splošnem razdelimo na tri skupine (Casado-Díaz in Coombes, 2011; Farmer in Fotheringham, 2011; Drobne, 2016): (a) metode hierarhičnega razvrščanja v skupine (numerične metode in na grafih temelječe metode), (b) metode večstopenjskega združevanja (na notranjih in na zunanjih pravilih temelječe metode) in (c) posebne metode (ostale samostojne metode oziroma pristopi). V naši študiji smo uporabili metodo CURDS, ki spada v skupino na notranjih pravilih temelječih postopkov večstopenjskega združevanja OPE v FR, in metodo Intramax, ki temelji na numeričnem pristopu hierarhičnega razvrščanja OPE v skupine.

2.1 Metoda CURDS

Metoda CURDS je bila prvotno razvita za spremljanje območij delovne mobilnosti (ODM) v Veliki Britaniji (Coombes in sod., 1986). V literaturi je bila dolgo poimenovana kot metoda TTWA (ang. Travel-To-Work-Areas), danes pa jo poljudno imenujemo po Središču za urbane in regionalne razvojne študije (ang. Centre for Urban and Regional Development Studies, CURDS) Univerze v Newcastlu, kjer so jo razvili.

ODM je območje, kjer živi in dela večina delovno aktivnega prebivalstva. Zato pretežni del delovnih mest v ODM zasedajo prebivalci tega območja. Statistični urad Evropske unije Eurostat (2017) opredeljuje ODM kot statistično, funkcionalno zamejeno, geografsko območje ali regijo, katerega zamejitev ni določena z administrativno opredeljenimi mejami. Spremljanje ODM ima več namenov. Najpomembnejši je spremljanje trga dela in ugotavljanje učinkovitosti programov, povezanih z zaposlovanjem. Velika Britanija, Francija in Italija so uveljavile ODM kot uradna območja za zbiranje statističnih podatkov o trgu dela. V teh državah so ODM najmanjša in temeljna območja za primerjavo zaposljivosti v državi oziroma regiji (Drobne in sod., 2018). ODM služijo tudi izvedbi različnih gospodarskih analiz na mezo in mikro ravni (Coombes in Bond, 2008; Persyn in Torfs, 2011). Na ravni ODM se zbirajo in analizirajo podatki o zaposljivosti, brezposelnosti, delovnih mestih in drugi podatki, vezani na trg dela. ODM je torej funkcionalno zamejeno območje ali regija, v kateri je v obravnavanem obdobju večina prebivalcev našla zaposlitev (Drobne, 2016). Tem načelom naj bi sledila politika zaposlovanja, prav tako pa politika prostorskega in urbanističnega načrtovanja (Smart, 1974; Coombes in sod., 1979; 1982; Drobne, 2016).

ODM sestavljamo iz OPE, ki so največkrat popisni ali statistični okoliši, naselja ali občine. Med OPE se dnevno izvaja delovna mobilnost (vožnja na delo in nazaj domov). Po Smartu (1974) je (dnevna) delovna mobilnost najbolj množična ter najbolj stabilna in redna oblika tokov prebivalstva v prostoru, pri kateri

manjše spremembe v zaposlitvi in/ali prebivališču ne vplivajo bistveno na vzorec dnevnih tokov na delo in domov. V tem smislu lahko razumemo ODM kot funkcionalna območja, opredeljena s posplošitvijo tokov delovne mobilnosti v prostoru (Drobne, 2016).

Metoda CURDS, s katero spremljamo ODM, je bila dvakrat posodobljena, nazadnje leta 2008 (Coombes in Bond, 2008). V naši študiji smo uporabili tretjo različico metode CURDS iz leta 2008 (prav tam). Metoda CURDS ne omogoča neposrednega nadzora števila modeliranih regij, njena prednost pa je v možnosti razstavljanja FR, ki ne izpolnjujejo predpisanih pogojev (podrobneje o tem v poglavju Metodologija).

V literaturi je mogoče zaslediti številne primere uporabe metode CURDS: na primer Watts (2009, 2013) za Avstralijo, Persyn in Torfs (2011) za Belgijo, Schmitt in van der Valk (2017) za obmejni del Belgije, Nizozemske in Nemčije, Klapka in sodelavci (2014) za Češko, Halas in sodelavci (2018) za Češko, Slovaško in Madžarsko, Paltila (2017) za Finsko, Franconi in sodelavci (2017) za Italijo, Papps in Newell (2002) ter Ralphs in Ang (2009) za Novo Zelandijo, Casado-Díaz (2000, 2003) za Španijo, Drobne in sodelavci (2018) ter Drobne (2019) za Slovenijo, Coombes in Bond (2008) ter Coombes in ONS (2015) za Veliko Britanijo.

2.2 Metoda Intramax

Metodo Intramax sta razvila Masser in Brown (1975, 1977) z namenom proučevanja strukture tokov na podlagi kvadratne matrike interakcij (Brown in Pitfield, 1990). V takšni matriki so tokovi interakcij evidentirani znotraj OPE in med njimi. Cilj metode Intramax je v postopku združevanja OPE čim bolj povečati delež interakcij, ki oblikujejo diagonalne elemente matrike, in tako čim bolj zmanjšati delež čezmejnih tokov v sistemu kot celoti (Masser in Brown, 1975). Masser in Brown (1977) sta poudarila predvsem dve mogoči področji uporabe postopka Intramax: v analizah podatkov o interakcijah na več hierarhičnih ravneh (tudi za zmanjševanje količine podatkov) ter v postopkih funkcionalne regionalizacije prostora.

Postopek Intramax (Masser in Brown, 1975, 1977; Brown in Pitfield, 1990) je postopek hierarhičnega združevanja, ki se izvede korakoma. V vsakem koraku se združita po dve OPE oziroma FR na nižjih ravneh obravnave, katerih relativna interakcija podaja najvišjo vrednost ciljne funkcije. Vrednosti ciljne funkcije računamo na podlagi dejanskega in pričakovanega obsega tokov ter skupnega obsega vseh obravnavanih tokov. Postopek Intramax po koraku združi OPE v eno FR. Postopek in rezultate hierarhičnega združevanja OPE v FR lahko predstavimo kot drevesni diagram v obliki dendrograma. Metoda omogoča modeliranje hierarhično urejenih FR, pri katerem lahko nadzorujemo število FR. Masser in Brown (1975) sta predlagala možnost uporabe omejitve sosedstva pri združevanju OPE (združijo se lahko le sosednje OPE). Drobne in Lakner (2016) sta v študiji primera za Slovenijo dokazala, da omejitev sosedstva vpliva le na začetne rezultate združevanja najmanjših občin v FR (prvih nekaj korakov združevanja), kasneje pa je rezultat enak tudi brez upoštevanja omejitve sosedstva.

Primere uporabe metode Intramax najdemo na zelo različnih ravneh in področjih modeliranja in analize FR (Drobne, 2016): od analize trga dela (Masser in Scheurwater, 1980; Feldman et al., 2006; Meredith et al., 2007; Watts, 2009; Landré, 2012; Landré in Håkansson, 2013; Koo, 2012), analize stanovanjskega trga (Goetgeluk in de Jong, 2007; Brown in Hincks, 2008; Jaegal, 2013), analize trga blaga (Brown in Pitfield, 1990), analize svetovnih trgovinskih regij (Poon, 1997; Kohl in Brouwer, 2014), analize

funkcionalnih ekonomskih regij (Mitchell, Bill in Watts, 2007; Mitchell in Stimson, 2010; Mitchell in Watts, 2010; Mitchell in sod., 2013), analize telekomunikacijskih regij (Fisher et al., 1993), analize upravnih in statističnih regij (Nel, Krygsman in de Jong, 2008; Drobne in Bogataj, 2012a, 2012b), analize prometnih regij (Krygsman, de Jong in Nel, 2009) pa do analize storitvenih regij (Drobne in Bogataj, 2014, 2015) in podobnega.

2.3 Statistične in makro regije Slovenije

Drobne (2016) in Statistični urad RS (SURS, 2019a) so mnenja, da je zamisel FR v Sloveniji na makro ravni izvedena v dvanajstih statističnih regijah, ki pa se zaradi izkazovanja podatkov v časovnih serijah zelo redko spreminjajo. Do leta 1995 je Statistični urad Republike Slovenije (SURS) za izkazovanje statističnih podatkov na regionalni ravni uporabljal členitev Slovenije na območja medobčinskega sodelovanja, ki jih je poimenoval statistične regije. Ta členitev je bila narejena sredi sedemdesetih let prejšnjega stoletja za potrebe regionalnega načrtovanja in sodelovanja na različnih področjih. Regionalizacija je bila izdelana na podlagi obširne analize gravitacijskih območij delovne mobilnosti, voženj v šolo in na fakultete ter oskrbe prebivalstva v dvanajstih regionalnih in njim pripadajočih subregionalnih središčih Vladimirja Kokoleta (Kokole, 1971) in Igorja Vrišerja (Vrišer, 1974). Konec leta 1994 je bila občinska mreža 62 razmeroma velikih občin (komun) preoblikovana in ustanovljenih je bilo 147 občin (SURS, 2019a). SURS je leta 1995 je ponovno uvedel statistične regije in ohranil potek meja ter poimenovanje po prejšnjih dvanajstih medobčinskih skupnostih. Z Uredbo o standardni klasifikaciji teritorialnih enot Slovenije (SKTE) (Ur. l. RS, št. 28/00) je bilo poskrbljeno, da so se meje dvanajstih statističnih regij uskladile z mejami občin. Tako so statistične regije postale del hierarhične členitve ozemlja Slovenije in s tem je bila dosežena možnost za zanesljivo združevanje statističnih podatkov z nižjih na višje ravni (SURS, 2019a). Leta 2003 je bila kot orodje za izkazovanje evropsko primerljivih podatkov sprejeta in uveljavljena Uredba (ES) št. 1059/2003 Evropskega parlamenta in Sveta o oblikovanju skupne klasifikacije statističnih teritorialnih enot – NUTS (angl. »Common classification of territorial units for statistics«) (ES, 2003). Zaradi pristopa novih držav članic v letu 2004 je bila sprejeta še Uredba (ES) št. 1888/2005 Evropskega parlamenta in Sveta o spremembi Uredbe (ES) št. 1059/2003 Evropskega parlamenta in Sveta (ES, 2005). Uredba NUTS ureja ozemeljsko členitev držav na ravneh od NUTS 1 do NUTS 3. Za Slovenijo je uporaba te klasifikacije postala obvezna od maja 2004 (SURS, 2019a). Od tega leta predstavljajo statistične regije Slovenije raven NUTS 3. Večje spreminjanje obsega in števila statističnih regij je v skladu z Uredbo NUTS mogoče le vsaka tri leta. Pri tem je treba upoštevati merila, ki določajo število prebivalcev v posamezni enoti na posamezni ravni NUTS. Po merilu za število in velikost regij na ravni NUTS 3 (Uredba o NUTS, št. 1059/2003) mora imeti posamezna statistična regija, merjena s povprečnim številom prebivalcev, med 150.000 in 800.000 prebivalcev. To v praksi pomeni, da ima lahko Slovenija na tej ravni najmanj tri in največ trinajst statističnih regij (ES, 2003; Drobne in Bogataj, 2012a).

Plut (1999) je izvedel sonaravno regionalizacijo Slovenije ob upoštevanju fizično-geografskih in družbeno-geografskih značilnosti. Uporabil je hidrogeografski kriterij, tj. členitev ozemlja na porečja, in ekonomsko-geografski kriterij, tj. vplivna območja središčnih naselij v Sloveniji. Regionalizacijo je izvedel na dveh ravneh: na ravni osmih makro in na ravni 25 mezo regij. Koncept osmih makro regij se je kasneje pojavil v številnih študijah (npr. Plut, 2004), nazadnje pa je bil uporabljen v predlogu členitve Slovenije na pokrajine (ZPok, 2019).

2.4 Vrednotenje (funkcionalnih) regij

Van der Laan in Schalke (2001) sta predlagala vrednotenje FR s primerjavo samozadostnosti regije na strani povpraševanja, samozadostnosti regije na strani ponudbe in indeksa delovne mobilnosti. Indeks delovne mobilnosti (IDM) je razmerje med zaposlenimi v regiji oziroma številom delovnih mest v regiji in zaposlenimi prebivalci regije. Z indeksom delovne mobilnosti merimo usklajenost med delovno aktivnimi prebivalci regije in številom delovnih mest v regiji (sposobnost regije zagotoviti svojim prebivalcem dovolj delovnih mest). Glede na IDM uvrščamo regije med delovne regije (>1 , v regiji je več delovnih mest, kot je zaposlenih prebivalcev regije) in bivalne regije (<1 , v regiji je manj delovnih mest, kot je zaposlenih prebivalcev regije). Vsako od teh skupin lahko členimo dalje. IDM izraža usklajenost med prihodnimi in odhodnimi tokovi delovne mobilnosti, ne podaja pa jakosti oziroma obsega tokov, ki prečkajo mejo regije. Obseg tokov, ki prečkajo mejo regije, opredeljujemo z indeksi samozadostnosti oziroma zaprtosti regije. Samozadostnost (angl. self-containment), tudi zaprtost (angl. closedness), regije odraža sposobnost regije zaposliti lokalno prebivalstvo oziroma sposobnost zagotoviti stanovanje vsem zaposlenim v regiji.

Goodman (1970) in Smart (1974) sta predlagala dva indeksa samozadostnosti, ki so ju drugi kasneje različno poimenovali: (a) samozadostnost regije na strani ponudbe (angl. supply-side self-containment; Casado-Díaz, 2000), ali na delovnem mestu temelječa samozadostnost (angl. workplace-based self-containment; Goodman, 1970; Smart, 1974), ali zaposlitvena samozadostnost (angl. employment self-containment; Van der Laan in Schalke, 2001), je razmerje med številom delovnih mest v regiji in vsemi zaposlenimi prebivalci regije, in (b) samozadostnost regije na strani povpraševanja (angl. demand-side self-containment; Casado-Díaz, 2000), ali na prebivališču temelječa samozadostnost (angl. residence-based self-containment; Goodman, 1970; Smart, 1974), ali stanovanjska samozadostnost (angl. housing self-containment; Van der Laan in Schalke, 2001), pa je razmerje med prebivalci regije, ki so tudi zaposleni v regiji, in vsemi zaposlenimi v regiji oziroma številom delovnih mest v regiji. Medtem ko samozadostnost na strani ponudbe podaja obseg možnosti zaposlitve lokalnega prebivalstva v FR, pa s samozadostnostjo na strani povpraševanja merimo obseg možnosti bivanja za zaposlene v FR. Vrednotenje kakovosti funkcionalne regionalizacije z navedenimi kazalniki zasledimo v številni literaturi (npr. Casado-Díaz, 2000; Van der Laan in Schalke, 2001; Coombes in Bond, 2008; Watts, 2009; Mitchell in Watts, 2010; Landré in Håkansson, 2013, idr.).

Feng (2009) in Watts (2009, 2013) sta razvila pristop k vrednotenju mehke pripadnosti OPE k FR s teorijo mehkih množic, s katero je mogoče opredeliti pripadnost posamezne OPE k več FR. Tako imajo slabo opredeljene FR več OPE z nizko stopnjo pripadnosti, medtem ko je kakovostno opredeljena FR sestavljena iz OPE z visoko stopnjo pripadnosti. OPE z nižjimi mehкими vrednostmi so praviloma locirane na mejah FR. Watts (2009) je s teorijo mehke logike (Feng, 2009) vrednotil sisteme FR v Avstraliji, modelirane s podatki delovne mobilnosti po metodah CURDS in Intramax. Ugotovil je, da obe metodi generirata dobre, toda ne dovolj zanesljive rezultate ter da metoda Intramax generira FR z nekoliko nižjo stopnjo zaprtosti regije.

Feng (2009) in Watts (2009, 2013) sta predlagala izračun mehke vrednosti pripadnosti OPE k FR kot aritmetično sredino mehkih vrednosti bivanjske pripadnosti in lokalne zaposlitve. Obe mehki vrednosti sta relativni vrednosti, zato v tem prispevku predlagamo uporabo geometrične namesto aritmetične sredine (glej poglavje Metodologija). Poleg nadgradnje pristopa vrednotenja funkcionalne regionaliza-

cije z geometrično sredino v prispevku predlagamo tudi izračun splošnih mer kakovosti funkcionalne regionalizacije za posamezno FR pa tudi za celoten sistem FR – oboje kot geometrično povprečje.

3 METODOLOGIJA

3.1 Podatkovne osnove

Temeljni vir podatkov študije kakovosti funkcionalne regionalizacije so bili podatki o povprečnih letnih tokovih delovne mobilnosti med 212 občinami v Sloveniji v obdobju 2015–2018. Te podatke smo pridobili iz Statističnega registra delovno aktivnega prebivalstva (SRDAP; SURS, 2019b), kjer sta na voljo kraj bivanja in kraj dela zaposlenega (SURS, 2017). Tokove delovne mobilnosti smo obravnavali v kvadratni matriki interakcij razsežnosti $n \times n$

$$F = [f_{ij}] \ n \times n \text{ matrika, } n = 212, \quad (1)$$

kjer je $f_{ij} \geq 0$ vrednost v i -ti vrstici in v j -tem stolpcu, torej tok iz občine izvora i v občino ponora j .

Prostorske podatke o občinah v Sloveniji smo pridobili na Geodetski upravi RS (GURS, 2019a). V študiji uporabljamo uradni šifrant občin v RS. FR smo modelirali po dveh splošno uveljavljenih pristopih, po metodi večstopenjskega združevanja CURDS in po hierarhični metodi Intramax, rezultate modeliranja pa smo vrednotili po pristopu iz teorije mehkih množic. Rezultate vrednotenja funkcionalne regionalizacije smo primerjali z območji statističnih regij (SURS, 2019a) in makro regij (Plut, 1999), ki smo jih pridobili na Geodetski upravi RS (GURS, 2019b) oziroma v Plut (1999). Šifrant statističnih regij v RS v obdobju 2015–2018 je v prilogi A, šifrant osmih makro regij, povzet po Plut (1999) in Drobne (2019), pa v prilogi B.

3.2 Metoda CURDS

FR smo modelirali po iterativnem postopku tretje različice metode CURDS (Coombes in Bond, 2008) v programskem orodju R s knjižnico LabourMarketAreas 3.0 (LMA, 2017). Pri modeliranju FR sledimo principu maksimizacije notranjih tokov (tokov znotraj FR) in minimizacije zunanjih tokov (tokov čez meje FR). Pri obravnavi tokov delovne mobilnosti spremljamo ta dva principa s samozadostnostjo FR, ki jo obravnavamo kot samozadostnost na strani ponudbe (angl. supply-side self-containment, *SSSC*) in kot samozadostnost na strani povpraševanja (angl. demand-side self-containment, *DSSC*). f_{bk} je tok delovne mobilnosti iz (skupine) OPE b v (skupino) OPE k oziroma f_{bk} je število delavcev, ki živijo v izvoru b in delajo v ponoru k . Potem je:

$$SSSC = \frac{RW_i}{R_i} \text{ samozadostnost na strani ponudbe,} \quad (2)$$

$$DSSC = \frac{RW_i}{W_i} \text{ samozadostnost na strani povpraševanja,} \quad (3)$$

kjer je:

$$R_i = \sum_k f_{ik} \text{ število delavcev, ki živijo v } i, \text{ oziroma število delovno aktivnega prebivalstva v } i, \quad (4)$$

$$W_i = \sum_b f_{bi} \text{ število delavcev, ki delajo v } i, \text{ oziroma število delovnih mest v } i, \quad (5)$$

$$RW_i = f_{ii} \text{ število delavcev, ki živijo in delajo v } i. \quad (6)$$

Samozadostnost na strani ponudbe (*SSSC*) podaja obseg možnosti zaposlitve lokalnega prebivalstva. Visoka stopnja *SSSC* označuje relativno zaprto FR (velik delež lokalnega prebivalstva najde zaposlitev v FR). Nasprotno pa nizka stopnja *SSSC* označuje relativno odprto FR (velik delež lokalnega prebivalstva dela v drugih FR). Samozadostnost na strani povpraševanja (*DSSC*) podaja obseg možnosti bivanja zaposlenim v FR. Visoka stopnja *DSSC* tako pomeni, da je velik delež zaposlenih v FR tam našel tudi prebivališče, hkrati pa lahko pomeni primanjkljaj delovnih mest v FR (Drobne, 2016). Van der Laan in Schalke (2001) zato predlagata, da pri vrednotenju ODM *SSSC* vedno soočimo z *DSSC*. Poleg samozadostnosti je pomemben kriterij pri vrednotenju oziroma modeliranju FR po metodi CURDS še število delovno aktivnih prebivalcev. Pred izvedbo iterativnega postopka metode CURDS moramo zato opredeliti štiri parametre, s katerimi modeliramo FR. Ti so: minimalno število delovno aktivnega prebivalstva v FR (*minWP*), ciljno število delovno aktivnega prebivalstva v FR (*tarWP*), minimalna samozadostnost v FR (*minSC*) in ciljna samozadostnost v FR (*tarSC*); pri tem obravnavamo samozadostnost kot manjšo od obeh obravnavanih samozadostnosti:

$$SC = \min(SSSC, DSSC). \quad (7)$$

Algoritem CURDS korakoma združuje OPE v FR. Pri tem obravnava vsako OPE (v našem primeru občino) kot FR. Algoritem v postopku združevanja preverja veljavnost FR glede na opredeljene parametre (*minWP*, *tarWP*, *minSC* in *tarSC*), ki opredeljujejo kriterijsko funkcijo, f_v :

$$f_v(WP, SC) = \left(1 - \left(1 - \frac{\min SC}{tar SC} \right) \max \left(\frac{tar WP - WP}{tar WP - \min WP}, 0 \right) \right) \frac{\min(SC, tar SC)}{tar SC}, \quad (8)$$

kjer je *WP* število delovno aktivnega prebivalstva v FR.

Skupek OPE postane FR, če velja (pogoj veljavnosti FR):

$$f_v(WP, SC) \geq \frac{\min SC}{tar SC}. \quad (9)$$

Pogoj veljavnosti FR se preveri po vsakem koraku združevanja. Algoritem namreč v korakih združuje OPE/FR, med katerima obstaja najmočnejša vez, L_{hk} , opredeljena s tokovi delovne mobilnosti:

$$L_{hk} = \frac{f_{hk}^2}{R_h W_k} + \frac{f_{kh}^2}{R_k W_h}, \quad (10)$$

kjer je f_{hk} število delovno aktivnega prebivalstva, ki živi v OPE/FR *h* in dela v (skupini) OPE/FR *k*, in f_{kh} število delovno aktivnega prebivalstva, ki živi v OPE/FR *k* in dela v OPE/FR *h*, R_h število delovno aktivnega prebivalstva v OPE/FR *h*, W_k število delovnih mest v OPE/FR *k*. Podrobno je algoritem tretje različice metode CURDS, ki je izveden v knjižnici LabourMarketAreas 3.0 za uporabo v programskem orodju R, opisan v Franconi in sod. (2016a).

Posebnost metode CURDS je v možnosti razdruževanja FR v OPE, v kolikor FR ne izpolnjuje pogoja veljavnosti (9), in uvrščanja le-teh na rezervni seznam OPE ter možnosti kasnejše ponovne obravnave posamezne OPE z rezervnega seznama OPE. Končni rezultat modeliranja FR po metodi CURDS je pogojen s parametri *minWP*, *tarWP*, *minSC* in *tarSC*, ki pa so odvisni predvsem od velikosti obravnavanega

območja in velikosti trga dela na tem območju. V literaturi najdemo priporočila za omenjene parametre (npr. Coombes in Bond, 2008; Franconi in sod., 2016a, 2016b), ki pa v splošnem veljajo za modeliranje FR na mikro in mezo ravni. Za vse ravni obravnave velja, da naj bo ciljna vrednost samozadostnosti večja od 0,65 ($tarSC \geq 0,65$), najmanjša vrednost samozadostnosti pa večja od 0,60 ($minSC \geq 0,60$), medtem ko sta ciljno ($tarWP$) in najmanjše število delovno aktivnega prebivalstva ($minWP$) v FR odvisna od značilnosti OPE, tokov delovne mobilnosti ter drugih značilnosti obravnavanega območja, ki ga členimo v FR, predvsem od gostote poselitve. Najmanjše število delovno aktivnega prebivalstva v FR pomembno vpliva na velikost modeliranih FR.

Coombes in Bond (2008) priporočata vsaj posplošeno poznavanje FR na izbrani ravni obravnave nekoga območja. S spreminjanjem parametrov $minWP$, $tarWP$, $minSC$ in $tarSC$ smo tako modelirali FR na makro ravni Slovenije, primerljive z dvanajstimi statističnimi regijami (SURs, 2019a) ter osmimi makro regijami (Plut, 1999, 2004).

3.3 Metoda Intramax

FR smo modelirali po hierarhičnem postopku Intramax (Masser in Brown 1975, 1977) z lastno programsko kodo v orodju za tehnično računanje Mathematica 12.0 (Drobne, 2016; Drobne in Lakner, 2016). Analiza Intramax je postopek hierarhičnega združevanja, ki se izvede korakoma. V vsakem koraku se združita dve OPE/FR, katerih relativna interakcija dá najvišjo vrednost ciljne funkcije:

$$Z_{ij} = \frac{f_{ij}}{f_{ij}^*} + \frac{f_{ij}}{f_{ij}^*}, \quad \text{maks } Z_{i \neq j} \quad (11)$$

kjer sta f_{ij} dejanski obseg delovne mobilnosti iz OPE/FR i v OPE/FR j , f_{ij}^* pa pričakovani obseg delovne mobilnosti, izračunan na podlagi vsote i -te vrstice, o_i , vsote j -tega stolpca, d_j , in skupnega obsega vseh tokov delovne mobilnosti, f :

$$f_{ij}^* = \frac{o_i d_j}{f}. \quad (12)$$

Vrednosti v matriki delovne mobilnosti $F = [f_{ij}]$ ni treba normalizirati.

S postopkom Intramax se najprej združijo manjše OPE z relativno močnimi tokovi (visoke vrednosti f_{ij} v primerjavi z nizkimi vrednostmi f_{ij}^* oziroma z nizkimi o_i in nizkimi d_j), v vmesnih korakih hierarhičnega združevanja postopek združi majhne OPE/FR z večjimi (visoke vrednosti f_{ij} v primerjavi z nizkimi o_i in visokimi d_j ali z nizkimi d_i in visokimi o_j), v zadnjih korakih pa združi večje FR (ali večje regije edinke, tj. večje OPE, ki dolgo ostanejo nezdružene) z drugimi večjimi FR (visoke vrednosti f_{ij} v primerjavi z visokimi vrednostmi f_{ij}^* oziroma z visokimi o_i in visokimi d_j). Podrobneje o metodi Intramax v Drobne (2016).

3.4 Vrednotenje kakovosti funkcionalne regionalizacije

Pripadnost posamezne občine k FR smo vrednotili po principih iz teorije mehkih množic, kot sta predlagala Feng (2009) in Watts (2009, 2013). Po takšnem pristopu je stopnja pripadnosti občine k FR, tj. mehka vrednost pripadnosti, nižja, če se več delovne mobilnosti iz občine izvaja v drugo FR, in višja, ko se

večina delovne mobilnosti izvaja znotraj FR. Pristop vrednotenja mehkih vrednosti omogoča opredelitev posamezne občine k več FR, hkrati pa pomaga pri iskanju potencialno slabo opredeljenih FR. Mehko vrednost pripadnosti občine k FR izračunamo s pomočjo dveh parametrov. Mehko vrednost bivanjske pripadnosti občine k m -ti FR izračunamo:

$$M'_{im} = \sum_{j \in (g)m} f_{ji} / f_{\cdot i}, \quad (13)$$

kjer občina i pripada FR m na podlagi regionalizacije, f_{ji} pa je delovna mobilnost iz j v i . Mehko vrednost lokalne zaposlitve občine i v FR m pa izračunamo:

$$M''_{im} = \sum_{j \in (g)m} f_{ij} / f_{\cdot i}, \quad (14)$$

Feng (2009) predlaga izračun mehke vrednosti pripadnosti posamezne OPE k FR m , M_{im} , kot aritmetično povprečje med M'_{im} in M''_{im} . Ker sta obe mehki vrednosti relativni števili, menimo, da je treba za izračun M_{im} uporabiti geometrično sredino:

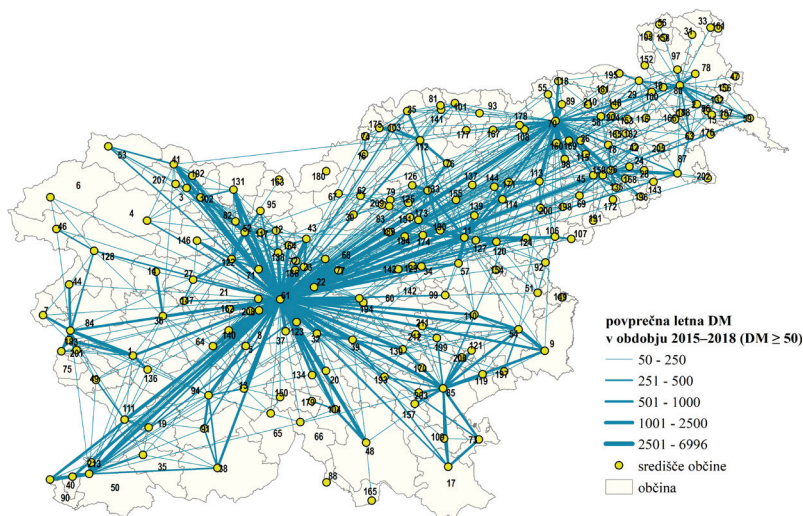
$$M = M_{im} = \sqrt{M'_{im} \cdot M''_{im}}. \quad (15)$$

Podobno smo izračunali kakovost funkcionalne regionalizacije za posamezno FR kot geometrično sredino mehkih vrednosti občin v FR, za celoten sistem funkcionalno opredeljenih regij pa kot geometrično sredino mehkih vrednosti vseh občin v sistemu FR.

4 REZULTATI IN RAZPRAVA

Modeliranje in upodobitev povprečnih letnih tokov delovne mobilnosti med občinami Slovenije v obdobju 2015–2018 izkaže prevladujočo vlogo najmočnejšega zaposlitvenega središča v Sloveniji, tj. glavnega mesta Ljubljane (glej sliko 1; uporabljen je uradni šifrant občin v RS). MO Ljubljana je v obdobju 2015–2018 zagotavljala več kot 26 % vseh delovnih mest v Sloveniji. Močne interakcije delovne mobilnosti z Ljubljano se kažejo predvsem vzdolž avtocestnega križa iz smeri Gorenjske, Primorske, Kočevja in Dolenjske ter iz smeri Celja in Štajerske. Ti rezultati so skladni z rezultati Boletove (2011) študije, v kateri je bilo izpostavljeno povečanje delovne mobilnosti v obdobju 2000–2009 med omenjenimi večjimi regionalnimi središči Slovenije vzdolž na novo zgrajenih avtocestnih povezav ter iz smeri Kočevja. Zaradi preglednosti so na sliki 1 prikazani le tokovi s 50 ali več delovno mobilnih.

Pri modeliranju FR po metodi CURDS ne moremo neposredno nadzorovati števila FR. S spreminjanjem vrednosti štirih parametrov smo opredelili dvanajst FR, ki smo jih primerjali z dvanajstimi statističnimi regijami. Parametri, ki so generirali dvanajst FR, so: $minWP = 20.000$, $tarWP = 25.000$, $minSC = 0,65$, $tarSC = 0,80$. S temi parametri členimo Slovenijo v FR Murske Sobote (80), Maribora (70), Ptuja (96), Slovenj Gradca (112), Velenja (133), Celja (11), Krškega (54), Novega mesta (85), Ljubljane (61), Kranja (52), Nove Gorice (84) in Kopra (50). Primerjava 12 FR, modeliranih po metodi CURDS, s statističnimi regijami je prikazana na sliki 2 levo. Tri FR, to so FR Murske Sobote (80), Slovenj Gradca (112) in Kranja (52), popolnoma sovpadajo s statističnimi regijami. Teritorialno manjša območja od ustreznih območij statističnih regij zavzemajo FR Maribora (70), Celja (11), Novega mesta (85) in Nove Gorice (84). Čez meje ustreznih statističnih regij pa se kažejo vplivi FR Ljubljane (61) in Kopra (50). Dve statistični regiji nimata ustrezne FR, to sta zasavska in notranjsko-kraška statistična regija. Namesto teh dveh se na ravni dvanajstih FR oblikujeta FR Ptuja (96) in Velenja (113).



Slika 1: Tokovi povprečne letne delovne mobilnosti (DM) med občinami Slovenije v obdobju 2015–2018.

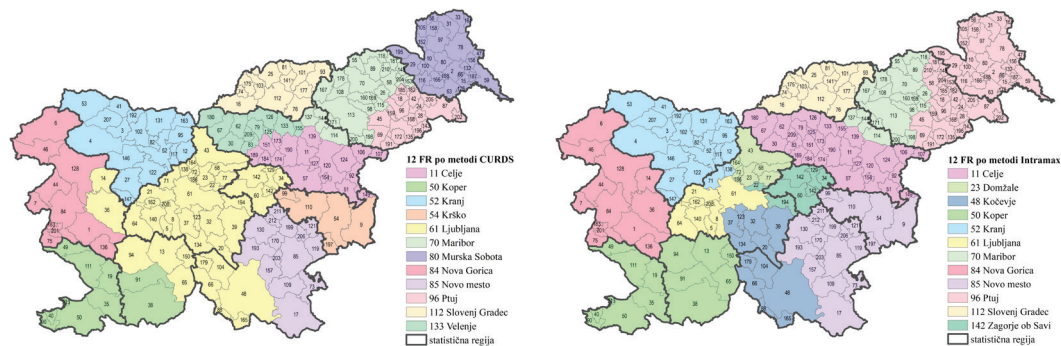
Metoda Intramax omogoča neposreden nadzor števila FR. S to metodo smo zamejili 12 FR okoli središčnih občin Ptuja (96), Maribora (70), Slovenj Gradca (112), Celja (11), Novega mesta (85), Zagorja ob Savi (142), Domžal (43), Ljubljane (61), Kočevja (48), Kranja (52), Nove Gorice (84) in Kopra (50); glej sliko 2 desno. FR, ki (skoraj) v celoti sovpadajo z ustreznimi statističnimi mejami, so FR Slovenj Gradca (112), Celja (11), Zagorja ob Savi (142), Kranja (52) in Nove Gorice (84). Medtem ko je FR Kopra (50) precej večja od ustreznne statistične regije, pa sta FR največjih mestnih občin v Sloveniji, to sta FR Ljubljane (61) in Maribora (70), precej manjši. Metoda Intramax ne prepozna FR Murske Sobote (80), Krškega (54) in Postojne (94), zameji pa območja FR Ptuja (96), Domžal (23) in Kočevja (48). Iz slednjega je razvidno, da metoda Intramax na ravni 12 FR generira razdrobljen vzorec FR okoli večjih mest, tj. okoli Ljubljane in Maribora. Do podobnih ugotovitev so prišli tudi Landré in Håkansson (2013) za Švedsko, Feldman in sod. (2006) za Škotsko, Mitchell in sod. (2007) za Avstralijo ter Meredith in sod. (2007) za Irsko. Kot ugotavljajo, postopek Intramax modelira razdrobljene FR z nizkimi ravni samozadostnosti na metropolitanskih območjih.

Bolje kot sovпада dvanajst FR s statističnimi regijami, pa se ujemajo območja osmih FR z območji makro regij (Plut, 1999; Drobne, 2019); glej sliko 3. Ujemanje je večje pri FR, generiranih po metodi CURDS, ki smo jih določili s parametri $minWP = 30.000$, $tarWP = 35.000$, $minSC = 0,70$, $tarSC = 0,80$; glej sliko 3 levo. V tem primeru dobimo FR, ki se skoraj v celoti ujemajo z osmimi makro regijami. V celoti se ujemata FR Kranja (52) in FR Novega mesta (85). Na vzhodu države sta FR Murske Sobote (80) in Maribora (70) nekoliko večji od ustreznih makro regij, na zahodu pa sta FR Nove Gorice (84) in Kopra (50) manjši po površini od ustreznih makro regij; tako je predvsem na račun večje FR Ljubljane (61).

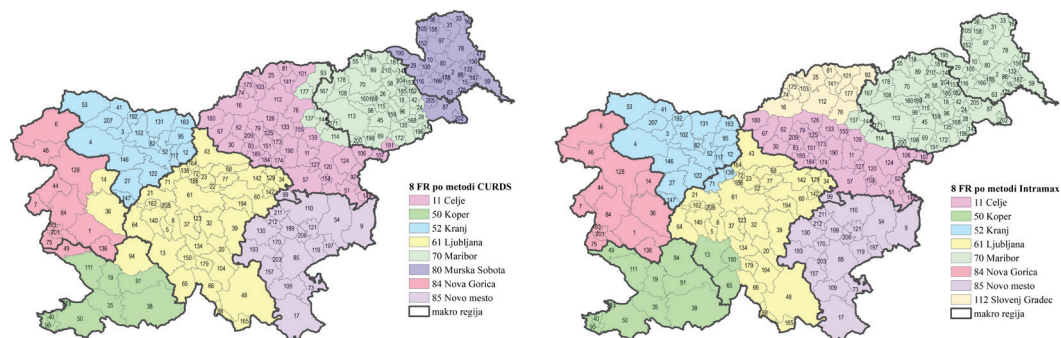
Metoda Intramax bolje modelira regije na ravni osmih kot dvanajstih FR. V tem primeru pet FR v osrednjem in zahodnem delu države skoraj v celoti sovпада z območji makro regij; te FR so FR Ljubljane (61), Novega mesta (85), Kranja (54), Nove Gorice (84) in Kopra (50). Na vzhodu države pa metoda

Intramax ne prepozna FR Murske Sobote, to območje dodeli k FR Maribora (70), namesto ene makro regije pa prepozna FR Celja (11) in Slovenj Gradca (112); glej sliko 3 desno.

Ugotovimo lahko, da je pri vseh štirih sistemih FR ujemanje največje, ko FR modeliramo po postopku CURDS – vsekakor pa je ujemanje večje na ravni manjšega števila večjih regij, tj. na ravni osmih (funkcionalnih) regij.



Slika 2: Dvanajst funkcionalnih regij, modeliranih z metodo CURDS (levo) in z metodo Intramax (desno), ter dvanajst statističnih regij Slovenije.



Slika 3: Osem funkcionalnih regij, modeliranih z metodo CURDS (levo) in z metodo Intramax (desno), ter osem makro regij Slovenije.

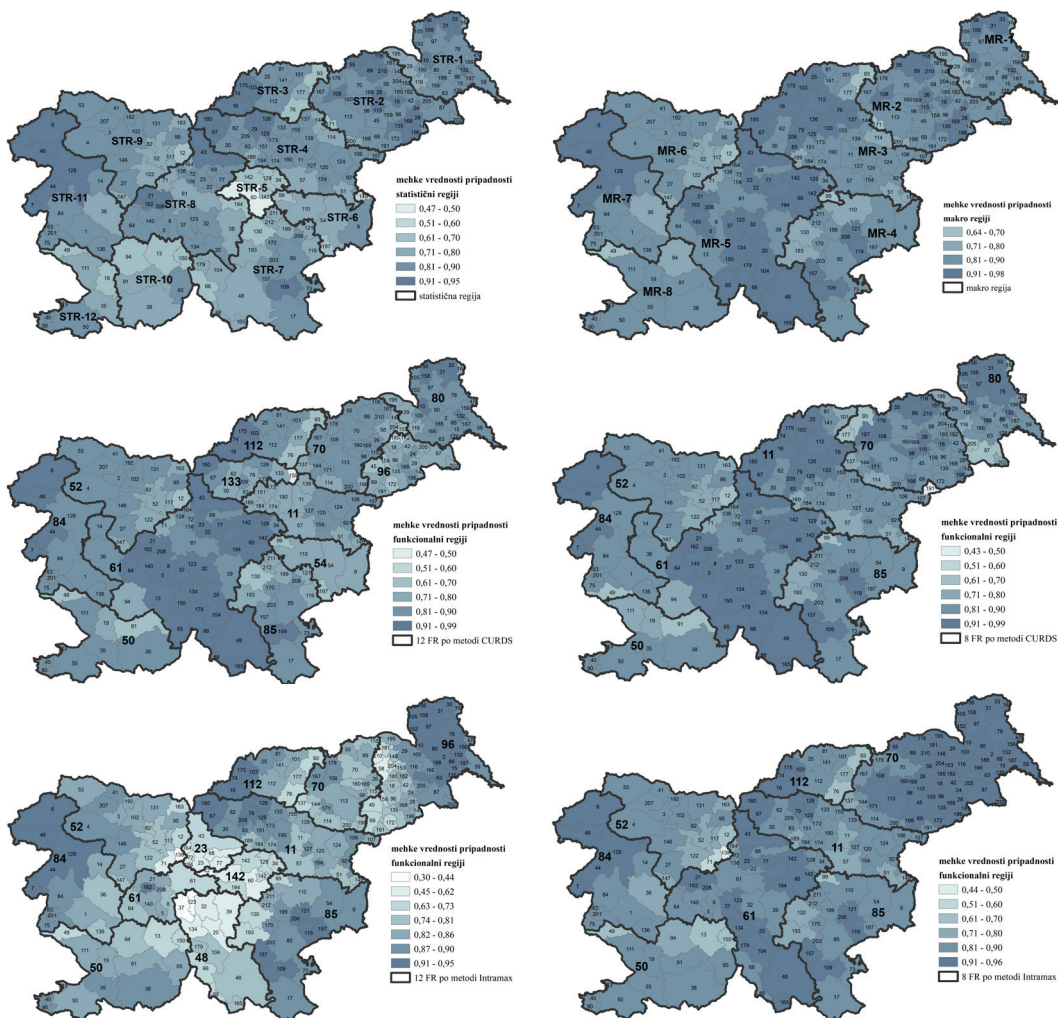
Pregled mehkih vrednosti pripadnosti občine k (funkcionalni) regiji (glej slike 4 in preglednico 1) izkaže v splošnem višje mehke vrednosti pri manjšem številu večjih (funkcionalnih) regij, tj. osmih makro regij in osmih FR (glej slike 4 desno). Takšen rezultat je pričakovan, saj se v večjih regijah več interakcij delovne mobilnosti izvaja znotraj regije. Povprečje mehkih vrednosti za celoten sistem osmih (funkcionalnih) regij je najvišje pri členitvi ozemlja po postopku Intramax (glej preglednico 1), toda podroben pregled mehkih vrednosti občin izkaže ravno obraten rezultat. Pri osmih FR, modeliranih po metodi Intramax, imajo nekatere občine zelo nizko mehko vrednost pripadnosti FR. Občine, ki imajo to vrednost nižjo od 0,6, so v FR Kranja (54) na meji s FR Ljubljane (61) ter v FR Slovenj Gradca (112) na meji s FR Maribora (70). Bolje od postopka Intramax členi ozemlje metoda CURDS. Metoda še posebej dobro opredeli območje okoli prestolnice, tj. FR Ljubljane (61), s povprečjem mehkih vrednosti preko 0,9, nekoliko slabše pa FR Maribora (70), vendar še vedno preko 0,85. V celotnem sistemu osmih FR, modeliranih po

metodi CURDS, ima najnižjo mehko vrednost pripadnosti FR občina Žetale (191), ki bi jo bilo treba prestaviti iz FR Celja (11) v FR Maribora (70). Od vseh obravnavanih sistemov (funkcionalnih) regij je sistem osmih makro regij v splošnem najbolj samozadosten sistem regij na makro ravni. Nobena občina nima mehke vrednosti manjše od 0,64, v razredu občin z pa je le pet občin ob mejah FR; te so Podvelka (93), Oplotnica (171), Radeče (99), Cerklje na Gorenjskem (12) in Komen (49).

Na ravni dvanajstih (funkcionalnih) regij, kot jih prikazujejo slike 4 levo, so mehke vrednosti pripadnosti v splošnem nižje kot na ravni osmih regij. Najnižje so pri členitvi ozemlja po hierarhičnem postopku Intramax, ki na tej ravni modelira razdrobljene FR okoli prestolnice Ljubljane. Tako imata, na primer, občini Ig (37) in Škofljica (123), ki sta v neposredni bližini Ljubljane, hkrati pa ju hierarhični postopek še vedno beleži v FR Kočevja (48), mehke vrednosti pripadnosti celo nižje od 0,45. Podobno nizke vrednosti imata občini Dol pri Ljubljani (22) in Vodice (138), ki ju metoda priključuje v FR Zagorja ob Savi (142) oziroma v FR Kranja (52). Podoben problem se pokaže na drugi strani države, okoli Maribora, kjer imata podobne nizke mehke vrednosti pripadnosti občini Lenart (58) in Sveti Jurij v Slovenskih goricah (210). Občini bi morali biti priključeni Mariboru, toda hierarhičen postopek ju je v zgodnjih korakih hierarhičnega združevanja priključil v FR Ptuja (96).

Pregled sistemov dvanajstih (funkcionalnih) regij izkaže v splošnem najvišje povprečne mehke vrednosti pri členitvi ozemlja Slovenije na dvanajst statističnih regij (glej preglednico 1). Vendar primerjava slik 4 levo zgoraj (statistične regije) in levo na sredini (FR, modelirane po metodi CURDS) izpostavi Zasavsko statistično regijo (STR-5) kot regijo s posebej nizkimi mehкими vrednostmi pripadnosti. V sistemu dvanajstih FR, modeliranih po metodi CURDS (slika 4, levo na sredini), tega problema ni zaznati, saj metoda na tej ravni zasavske občine priključuje FR Ljubljane (61). Je pa metoda CURDS neustrezno opredelila občino Dobrna (155) v FR Velenja (133). Pregled tokov delovne mobilnosti pokaže, da bi bilo smiselno Dobrno priključiti v FR Celja (11).

V prispevku smo predlagali popravek izračuna povprečnih mehkih vrednosti pripadnosti osnovnih prostorskih enot (OPE) k (funkcionalni) regiji z geometrično sredino, kot je to običaj pri računanju z relativnimi vrednostmi, ki jih primerjamo. Feng (2009) je izvirno predlagal izračun z aritmetično sredino. V študiji primera za Slovenijo smo izračun povprečnih mehkih vrednosti izvedli tudi z aritmetično sredino in ugotovili, da so le-te v študiji makro (funkcionalnih) regij v Sloveniji precenjene tudi do 5 %. Povprečne mehke vrednosti občin, izračunane kot aritmetično povprečje, izkazujejo tudi do 5 % višjo pripadnost (funkcionalni) regiji. Kljub temu velja omeniti, da je pri večini (prek 86 %) občin razlika med aritmetično in geometrično sredino mehkih vrednosti pripadnosti manjša od 1 %. Razlika je večja pri občinah, kjer je razlika med obema mehкими vrednostma v občini, tj. med mehko vrednostjo bivanjske pripadnosti (M''_{im}) in mehko vrednostjo lokalne zaposlitve (M''_{im}), večja, in obratno. Pri slovenskih občinah je velika razlika med obema mehкими vrednostma vedno na račun večje mehke vrednosti bivanjske pripadnosti občine i k m -ti funkcionalni regiji (M'_{im}).



Slika 4: Mehke vrednosti pripadnosti občine k dvanajstim statističnim regijam Slovenije (zgoraj levo), dvanajstim funkcionalnim regijam, modeliranim z metodo CURDS (sredina levo) in z metodo Intramax (spodaj levo), ter mehke vrednosti pripadnosti občine k osmim makro regijam (zgoraj desno), osmim funkcionalnim regijam, modeliranim z metodo CURDS (sredina desno) in z metodo Intramax (spodaj desno).

Preglednica 1: Povprečne mehke vrednosti (*M*) pripadnosti občin osmim in dvanajstim (funkcionalnim) regijam.

12 statističnih regij	<i>M</i>	12 FR (CURDS)	<i>M</i>	12 FR (Intramax)	<i>M</i>
skupaj	0,831	skupaj	0,824	skupaj	0,795
STR-1	0,806	11	0,785	11	0,854
STR-2	0,836	50	0,793	23	0,514
STR-3	0,762	52	0,804	48	0,604
STR-4	0,827	54	0,705	50	0,809
STR-5	0,490	61	0,902	52	0,772
STR-6	0,572	70	0,825	61	0,812
STR-7	0,729	80	0,865	70	0,822
STR-8	0,901	84	0,882	84	0,876
STR-9	0,749	85	0,806	85	0,849
STR-10	0,619	96	0,729	96	0,835
STR-11	0,849	112	0,830	112	0,830
STR-12	0,759	133	0,759	142	0,579

8 makro regij	<i>M</i>	8 FR (CURDS)	<i>M</i>	8 FR (Intramax)	<i>M</i>
skupaj	0,866	skupaj	0,858	skupaj	0,870
MR-1	0,865	11	0,855	11	0,854
MR-2	0,876	50	0,801	50	0,809
MR-3	0,865	52	0,804	52	0,772
MR-4	0,859	61	0,902	61	0,888
MR-5	0,901	70	0,859	70	0,923
MR-6	0,804	80	0,856	84	0,876
MR-7	0,876	84	0,865	85	0,849
MR-8	0,824	85	0,849	112	0,830

Opomba: MR – makro regija, STR – statistična regija, FR – funkcionalna regija, CURDS – FR, modelirane po metodi CURDS, Intramax – FR, modelirane po metodi Intramax, *M* – povprečne mehke vrednosti pripadnosti občin regiji

4 SKLEP

V prispevku smo analizirali kakovost funkcionalne regionalizacije po metodah Intramax in CURDS na makro ravni. V ta namen smo nadgradili pristop vrednotenja kakovosti funkcionalne regionalizacije z mehкими vrednostmi pripadnosti osnovnih prostorskih enot v funkcionalno regijo (Feng, 2009) z izračunom geometričnih namesto aritmetičnih povprečij. Poleg tega popravka smo predlagli izračun povprečne kakovosti funkcionalne regionalizacije za posamezno (funkcionalno) regijo ter za celoten sistem (funkcionalnih) regij.

V študiji primera za Slovenijo smo modelirali funkcionalne regije s tokovi delovne mobilnosti med občinami Slovenije in rezultate primerjali z osmimi makro regijami v Sloveniji, kot jih je predlagal Plut (1999), in dvanajstimi statističnimi regijami v Sloveniji. Rezultati analize kažejo na izjemno visoko raven kakovosti funkcionalne regionalizacije osmih makro regij, medtem ko je kakovost funkcionalne regionalizacije dvanajstih statističnih regij nekoliko nižja. Slabša opredelitev statističnih regij z vidika

funkcionalnih povezav delovne mobilnosti je predvsem posledica dejstva, da v sodobnem času na ravni dvanajstih regij funkcionalna regija Zasavja ne obstaja. Občine zasavske regije so z vidika funkcionalnih povezav močno povezane s funkcionalno regijo Ljubljane, saj več kot 90 % delovno aktivnih prebiva in dela v tej funkcionalni regiji.

Od uporabljenih metod funkcionalne regionalizacije se je najbolje odrezala metoda CURDS. Ta metoda, z možnostjo razstavljanja regij, ki ne izpolnjujejo pogojev funkcionalno povezanih območij, oblikuje močno povezane in samnozadostne funkcionalne regije. Metoda CURDS je še posebej uspešna na metropolitanskih območjih, kar se je zlasti izkazalo na primeru funkcionalne regije Ljubljane, kjer pa je metoda Intramax popolnoma odpovedala. Metoda Intramax oblikuje okoli večjih urbanih središč do določene hierarhične ravni razdrobljene funkcionalne regije. Le-te se v naslednjih hierarhičnih korakih sestavijo v primerne funkcionalne regije. Takšen primer je sestavitev dvanajstih regij, modeliranih z metodo Intramax, po štirih korakih v osem primernih in tudi visoko funkcionalno kakovostnih regij.

Ugotavljamo, da obe preizkušeni metodi na makro ravni obravnave generirata zadovoljive rezultate, ki pa jih je treba smiselno obravnavati. Pri tem moramo biti pozorni na samo razdrobljenosti prostora in kakovost funkcionalne regionalizacije osnovnih prostorskih enot.

Mogoče smeri nadaljnega raziskovanja vidimo predvsem v raziskavi in opredelitvi kriterija primernosti in sprejemljivosti posamezne hierarhične ravni funkcionalne regionalizacije po metodi Intramax ter v razvoju novih pristopov vrednotenja funkcionalne regionalizacije prostora. Primer takšnega novega pristopa so nedavno izvedli Halás in sod. (2019).

Zahvala

Avtor prispevka se zahvaljuje Javni agenciji za raziskovalno dejavnost Republike Slovenije za delno sofinanciranje študije iz državnega proračuna v okviru raziskovalnega programa Opazovanje Zemlje in geoinformatika (P2-0406), temeljnega raziskovalnega projekta Razvoj socialne infrastrukture in storitev za izvajanje dolgotrajne oskrbe v skupnosti (J6-9396) in temeljnega raziskovalnega projekta Ustvarjanje družbene vrednosti s starostnikom prijaznim upravljanem stanovanjskega sklada v vseživljenjskih soseskah (J5-1784).

Literatura in viri:

- Alvanides, S., Openshaw, S., Duke-Williams, O. (2000). Designing zoning systems for flow data, V: P. Atkinson (ur.), D. Martin (ur.) GIS and GeoComputation: Innovations in GIS 7 (str. 115–134). New York: Taylor and Francis Publishing, Inc..
- Andersen, A. K. (2002). Are commuting areas relevant for the delimitation of administrative regions in Denmark? *Regional Studies*, 36 (8), 833–844. DOI: <https://doi.org/10.1080/0034340022000012289>
- Brown, P. J. B., Hincks, S. (2008). A framework for housing market area delineation: Principles and application. *Urban Studies*, 45 (11), 2225–2247. DOI: <https://doi.org/10.1177/0042098008095866>
- Brown, P. J. B., Pitfield, D. E. (1990). The Intramax derivation of commodity market structures from freight flow data. *Transportation Planning and Technology*, 15 (1), 59–81. DOI: <https://doi.org/10.1080/03081069008717440>
- Casado-Díaz, J. M. (2000). Local labour market areas in Spain: A case study. *Regional Studies*, 34 (9), 843–856. DOI: <https://doi.org/10.1080/00343400020002976>
- Casado-Díaz, J. M. (2003). The use of commuting data to define local labour market areas and urban areas in Spain. Alicante: University of Alicante: 28 str. <http://rua.ua.es/dspace/bitstream/10045/2671/1/Casado-D%3C%ADaz%20%28Umea%202003%29.pdf>, pridobljeno 1. 12. 2018.
- Casado-Díaz, J. M., Coombes, M. G. (2011). The delineation of 21st century local labour market areas: a critical review and a research agenda. *Boletín de la Asociación de Geógrafos Españoles*, 57, 7–32.
- Coombes, M. G., Bond, S. (2008). Travel-to-Work Areas: the 2007 review. London: Office for National Statistics, 58 str. http://www.istat.it/it/files/2014/12/final_TTWA_report.doc, pridobljeno 17. 9. 2018.

- Coombes, M. G., Dixon, J. S., Goddard, J. B., Openshaw, S., Taylor, P. J. (1979). Daily urban systems in Britain: from theory to practice. *Environment and Planning A*, 11 (5), 565–574. DOI: <https://doi.org/10.1068/a110565>
- Coombes, M. G., Green, A. E., Openshaw, S. (1986). An efficient algorithm to generate official statistical reporting areas: The case of the 1984 travel-to-work-areas revision in Britain. *Journal of the Operational Research Society*, 37 (10), 943–953. DOI: <https://doi.org/10.2307/2582282>
- Coombes, M., Casado-Díaz, J. M., Martínez-Bernabeu, L., Carausu, F. (2012). Study on comparable labour market areas. Final research report. Rome: Istat, 146 str. http://www.istat.it/it/files/2014/12/Final-Report_LMA-v1-0-17102012.pdf, pridobljeno 12. 12. 2018.
- Coombes, M. G., ONS (2015). Travel to Work Areas: Research undertaken with and for the Office for National Statistics. Newcastle University. <http://www.ncl.ac.uk/media/wwwnclacuk/curds/files/RR2015-05.pdf>, pridobljeno 17. 9. 2018.
- Cörvers, F., Hensen, M., Bongaerts, D. (2009). Delimitation and coherence of functional and administrative regions. *Regional Studies*, 43 (1), 19–31. DOI: <https://doi.org/10.1080/00343400701654103>
- Drobne, S. (2016). Model vrednotenja števila in območij funkcionalnih regij. Doktorska disertacija. Ljubljana: Univerza v Ljubljani, Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo, 174 str. <http://drugg.fgg.uni-lj.si/5557/>, pridobljeno 15. 8. 2019.
- Drobne, S. (2017). Functional regions and areas: literature review according to application fields = Funkcionalne regije in območja: pregled literature po področjih uporabe. *Geodetski vestnik*, 61 (1), 35–57. DOI: <https://doi.org/10.15292/geodetski-vestnik.2017.01.35-57>
- Drobne, S. (2019). Funkcionalne regije kot podlaga za ustanovitev pokrajin v Sloveniji, različica 5. 10. 2019. Ljubljana: samozaložba, <http://www.pokrajine.si>, pridobljeno 14. 10. 2019.
- Drobne, S., Bogataj, M. (2012a). Metoda opredelitve števila funkcionalnih regij: aplikacija na ravneh NUTS 2 in NUTS 3 v Sloveniji. *Geodetski vestnik*, 56 (1), 105–150. DOI: <https://doi.org/10.15292/geodetski-vestnik.2012.01.105-127>
- Drobne, S., Bogataj, M. (2012b). Evaluating functional regions. V: Z. Babič et al. (ur.). 14th International conference on operational research (KOI 2012) in Trogir, Croatia, September 26–28, 2012. *Croatian operational research review* 3, 14–26. hrak.hr/file/142254, pridobljeno 17. 11. 2018.
- Drobne, S., Bogataj, M. (2014). Regions for servicing old people: Case study of Slovenia. *Business systems research journal*, 5 (3), 19–36. DOI: <https://doi.org/10.2478/bsrj-2014-0017>
- Drobne, S., Bogataj, M. (2015). Optimal allocation of public service centres in the central places of functional regions. *IFAC-PapersOnLine*, 48 (3), 2362–2367. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ifacol.2015.06.441>
- Drobne, S., Borovnik, L., Lakner, M. (2018). Lokalna območja delovne mobilnosti v Sloveniji. V: R. Ciglič (ur.), et al., *Pokrajina v visoki ločljivosti, GIS v Sloveniji* (str. 153–164). Ljubljana: Založba ZRC SAZU.
- Drobne, S., Lakner, M. (2016). Use of Constraints in the Hierarchical Aggregation Procedure Intramax. *Business systems research journal*, 7 (2), 5–22. DOI: [10.1515/bsrj-2016-0009](https://doi.org/10.1515/bsrj-2016-0009)
- Drobne, S., Zavodnik Lamovšek, A. (2017). Functional urban areas as instruments of spatial development policy at the regional level in the case of Slovenia. *Prostor*, 25 (54), 200–215. DOI: [https://doi.org/10.31522/p.25.2\(54\).3](https://doi.org/10.31522/p.25.2(54).3)
- Farmer, C. J. Q., Fotheringham, A. S. (2011). Network-based functional regions. *Environment and Planning A*, 43 (11), 2723–2741. DOI: <https://doi.org/10.1068/a44136>
- Feldman, O., Simmonds, D., Troll, N., Tsang, F. (2006). Creation of a system of functional areas for England and Wales and for Scotland. V: *European Transport Conference, 2005 Proceedings*, Strasbourg, Francija, October 3–5, 2005, Association for European Transport. <http://abstracts.aetransport.org/paper/index/id/2284/confid/11>, pridobljeno 14. 12. 2017.
- Feng, Z. (2009). Fuzziness of Travel to Work Areas. *Regional Studies*, 43 (5), 707–720. DOI: <https://doi.org/10.1080/00343400801922806>
- Fischer, M. M., Essletzbichler, J., Gassler, H., Trichtl, G. (1993). Telephone communication patterns in Austria – A comparison of the IPFP-based graph-theoretic and the Intramax approaches. *Geographical Analysis*, 25 (3), 224–233. DOI: <https://doi.org/10.1111/j.1538-4632.1993.tb00293.x>
- Franconi, L., D'Alò, M., Ichim, D. (2016a). Istat implementation of the algorithm to develop Labour Market Areas. Technical Report. Istat. <https://www.istat.it/en/files/2016/03/Description-of-the-LabourMarketAreas-algorithm.pdf>, pridobljeno 13. 5. 2018.
- Franconi, L., Ichim, D., D'Alò, M., Cruciani, S. (2016b). Guidelines for Labour Market Area delineation process: from definition to dissemination. Istat. https://ec.europa.eu/eurostat/cros/system/files/guidelines_for_lmas_production08082017_rev300817.pdf, pridobljeno 22. 11. 2018.
- Franconi, L., Ichim, D., D'Alò, M. (2017). Labour Market Areas for territorial policies: Tools for a European approach. Istat, 7 str. <https://content.iospress.com/download/statistical-journal-of-the-iaos/sji160343?id=statistical-journal-of-the-iaos%2Fsj160343>, pridobljeno 20. 11. 2017.
- Goetgheul, R., De Jong, T. (2007). What about the spatial dimension of subsidiarity in housing policy? ENHR 2007 International conference on Sustainable Urban Areas, The Netherlands, Rotterdam, June, 25–28 2007: 17 str. <https://www.yumpu.com/en/document/view/26672955/what-about-the-spatial-dimension-of-subsidiarity-in-housing-policy>, pridobljeno 18. 11. 2015.
- Goodman, J. F. B. (1970). The definition and analysis of local labour markets: Some empirical problems. *British Journal of Industrial Relations*, 8 (2), 179–196. DOI: <https://doi.org/10.1111/j.1467-8543.1970.tb00968.x>
- Green, A. E., Coombes, M. G. (1985). Local unemployment rates: Statistical sensitivities and policy implications. *Regional Studies*, 19 (3), 268–273. DOI: [https://doi.org/10.1016/0016-7185\(86\)90002-3](https://doi.org/10.1016/0016-7185(86)90002-3)
- GURS (2019a). Prostorski podatki ob občinah v Sloveniji 2019. Ljubljana: Geodetska uprava RS. <https://www.e-prostor.gov.si/>, pridobljeno 1. 5. 2019.
- GURS (2019b). Prostorski podatki o statističnih regijah v Sloveniji 2019. Ljubljana: Geodetska uprava RS. <https://www.e-prostor.gov.si/>, pridobljeno 1. 5. 2019.
- Halás, M., Klapka, P., Erlebach, M. (2019). Unveiling spatial uncertainty: a method to evaluate the fuzzy nature of functional regions. *Regional Studies*, 53 (7), 1029–1041. DOI: <https://doi.org/10.1080/00343404.2018.1537483>
- Halás, M., Klapka, P., Hurbánek, P., Bleha, B., Péntes, J., Pálóczi, G. (2018). A definition of relevant functional regions for international comparisons: The case of Central Europe. *Area*, 1–11. DOI: <https://doi.org/10.1111/area.12487>

- Jaegal, Y. (2013). Delineating housing market areas in the Seoul metropolitan area using a geo-computational approach. *Journal of the Association of Korean Geographers*, 2 (1), 7–20.
- Johansson, B. (1998). *Infrastructure, Market Potential and Endogenous Growth*. Jönköping (Mimeo): Jönköping International Business School.
- Karlsson, C., Olsson, M. (2006). The identification of functional regions: theory, methods, and applications. *The Annals of Regional Science*, 40 (1), 1–18. DOI: <https://doi.org/10.1007/s00168-005-0019-5>
- Klapka, P., Halás, M., Erlebach, M., Tonev, P., Bednář, M. (2014). A multistage agglomerative approach for defining functional regions of the Czech Republic: The use of 2001 commuting data. *Moravian Geographical Reports*, 22 (4), 2–13. DOI: <https://doi.org/10.1515/mgr-2014-0019>
- Kohl, T., Brouwer, A. E. (2014). The development of trade blocs in an era of globalisation. *Environment and Planning A*, 46 (7), 1535–1553. DOI: <https://doi.org/10.1068/a46261>
- Kokole, V. (1971). Centralni kraji v SR Sloveniji. Problemi njihovega omrežja in njihovih gravitacijskih območij. *Geografski zbornik*, 12, 5–137.
- Koo, H. (2012). Improved hierarchical aggregation methods for functional regionalization in the Seoul metropolitan area. *Journal of the Korean Cartographic Association*, 12 (2), 25–35.
- Krygsman, S., De Jong, T., Nel, J. (2009). Functional transport regions in South Africa: An examination of national commuter data. V: *Proceedings of the 28th South African transport conference (SATC 2009)*, Pretoria, South Africa, June 6–9, 2009. Pretoria, Academic Press: 144–154. http://repository.up.ac.za/bitstream/handle/2263/11952/Krygsman_Functional%282009%29.pdf, pridobljeno 11. 9. 2018.
- Landré, M. (2012). Geoprocessing journey-to-work data: delineating commuting regions in Dalarna, Sweden. *ISPRS International Journal of Geo-Information*, 1 (3), 294–314. DOI: <https://doi.org/10.3390/ijgi1030294>
- Landré, M., Håkansson, J. (2013). Rule versus Interaction function: evaluating regional aggregations of commuting flows in Sweden. *European Journal of Transport and Infrastructure Research*, 13 (1), 1–19.
- Masser, I., Brown, P. J. B. (1975). Hierarchical aggregation procedures for interaction data. *Environment and Planning A*, 7 (5), 509–523. DOI: <https://doi.org/10.1068/a070509>
- Masser, I., Brown, P. J. B. (1977). Spatial representation and spatial interaction. *Papers of the Regional Science Association*, 38 (1), 71–92. DOI: <https://doi.org/10.1111/j.1435-5597.1977.tb00992.x>
- Masser, I., Scheurwater, J. 1980. Functional regionalisation of spatial interaction data: an evaluation of some suggested strategies. *Environment and Planning A*, 12 (12), 1357–1382. DOI: <https://doi.org/10.1068/a121357>
- Meredith, D., Charlton, M., Foley, R., Walsh, J. (2007). Identifying travel-to-work areas in Ireland: a hierarchical approach using GIS. *Geographical Information Science Research Conference* (str. 11–13). NCG, NUI Maynooth. http://www.geocomputation.org/2007/2B-Apps_Urban_Modelling_1/2B3.pdf, pridobljeno 15. 8. 2018.
- Mitchell, W., Bill, A., Watts, M. (2007). Identifying functional regions in Australia using hierarchical aggregation techniques. Working Paper No. 07–06, Centre of Full Employment and Equity. The University of Newcastle, Australia. <http://e1.newcastle.edu.au/coffee/pubs/wp/2007/07-06.pdf>, pridobljeno 15. 12. 2018.
- Mitchell, W., Stimson, R. (2010). Creating a new geography of functional economic regions to analyse aspects of labour market performance in Australia. V: P. Dalziel (ur.). *Innovation and regions: Theory, practice and policy* (str. 178–220). Lincoln, New Zealand: AERU Research Unit.
- Mitchell, W., Watts, M. (2010). Identifying functional regions in Australia using hierarchical aggregation techniques. *Geographical Research*, 48 (1), 24–41. DOI: <https://doi.org/10.1111/j.1745-5871.2009.00631.x>
- Mitchell, W., Baum, S., Flanagan, M., Hannan, M. (2013). *COFFEE functional economic regions*. AURIN project. Darwin, Australia: Centre of Full Employment and Equity. http://e1.newcastle.edu.au/coffee/functional_regions/, pridobljeno 19. 1. 2018.
- Nel, J. H., Krygsman, S. C., De Jong, T. (2008). The identification of possible future provincial boundaries for South Africa based on an Intramax analysis of journey-to-work data. *Orion*, 24 (2), 131–156. DOI: <https://doi.org/10.5784/24-2-64>
- OECD (2002). *Redefining territories – The functional regions*. Paris: OECD Publishing, 132 str.
- Paltila, Y. (2017). *Labour Market Areas*. Final Technical report of the Finnish project. Statistics Finland: 37 str. https://ec.europa.eu/eurostat/cros/system/files/lma_final_technical_report_finland.pdf, pridobljeno 27. 10. 2017.
- Papps, K. L., Newell, J. O. (2002). Identifying functional labour market areas in New Zealand: A reconnaissance study using Travel-to-Work data. Discussion Paper 443. <http://ftp.iza.org/dp443.pdf>, pridobljeno 30. 12. 2017.
- Persyn, D., Torfs, W. (2011). Functional labour markets in Belgium: evolution over time and intersectoral comparison. https://lirias.kuleuven.be/bitstream/123456789/354540/2/2011VivesDP17_functionallabormarketsinbelgium.pdf, pridobljeno 17. 6. 2017.
- Plut, D. (1999). *Zasnova členitve Slovenije na pokrajine s pomočjo trajnostno sonaravnih izhodišč*. V: I. Vrišer (ur.), *Pokrajina v Sloveniji* (str. 65–73). Ljubljana: Vlada RS, Služba za lokalno samoupravo.
- Plut, D. (2004). *Zasnova členitve Slovenije na pokrajine s pomočjo trajnostno sonaravnih izhodišč*. V: S. Vlaj (ur.), *Pokrajina: druga raven lokalne samouprave*. Ljubljana: Fakulteta za družbene vede, str. 21–35.
- Poon, J. P. (1997). The cosmopolitanization of trade regions: Global trends and implications, 1965–1990. *Economic Geography*, 73 (4), 390–404. DOI: <https://doi.org/10.2307/144560>
- Ralphs, M., Ang, L. (2009). Optimised geographies for data reporting: zone design tools for Census output geographies. *Statistics New Zealand Working Paper*, št. 09–01, Wellington: Statistics New Zealand, 59 str.
- Schmitt, J., van der Valk, J. (2017). Cross border Labour Market Area's in the case of the Netherlands. *Statistics Netherlands (CBS)*: 17 str.
- Smart, M. W. (1974). Labour market areas: Uses and definition, *Progress in Planning*, 2 (4), 239–353. DOI: [https://doi.org/10.1016/0305-9006\(74\)90008-7](https://doi.org/10.1016/0305-9006(74)90008-7)
- SURS (2017). *Delovne migracije, Slovenija, metodološko pojasnilo*. Ljubljana: Statistični urad Republike Slovenije. <http://www.stat.si/statweb/Common/PrikaziDokument.aspx?IdDatoteke=8147>, pridobljeno 1. 6. 2019.

- SURS (2019a). Pojasnila o teritorialnih spremembah statističnih regij. Ljubljana: Statistični urad Republike Slovenije. <http://www.stat.si/dokument/5449/Pojasnila-spremembah-statisticnih-regij.pdf>, pridobljeno 20. 12. 2019.
- SURS (2019b). Delovno aktivno prebivalstvo (brez kmetov) po občinah prebivališča in občinah delovnega mesta po spolu, občine, Slovenija, letno, pregled po občinah. Ljubljana: Statistični urad Republike Slovenije. <https://pxweb.stat.si/SiStat/>, pridobljeno 15. 6. 2019.
- Tomaney, J., Ward, N. (2000). England and the »New Regionalism«. *Regional studies*, 34 (5), 471–478. DOI: <https://doi.org/10.1080/00343400050058710>
- Ullman, E. L. (1980). *Geography as spatial interaction*. Seattle and London: University of Washington Press.
- Uredba o standardni klasifikaciji teritorialnih enot Slovenije. Uradni list RS, št. 28/2000.
- Uredba (ES) št. 1059/2003 Evropskega parlamenta in Sveta z dne 26. maja 2003 o oblikovanju skupne klasifikacije statističnih teritorialnih enot (NUTS). UL EU 14/Zv. 1, 2003, 196–238. <http://www.stat.si/dokument/8475/Uredba-1059-2003-nuts.pdf>, pridobljeno 11. 12. 2019.
- Uredba (ES) št. 1888/2005 Evropskega parlamenta in Sveta o spremembi Uredbe (ES) št. 1059/2003 Evropskega parlamenta in Sveta. Ur. l. EU, L 309, 25.11.2005, 1–8. <http://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=OJ:L:2005:309:0001:0008:SL:PDF>, pridobljeno 11. 12. 2019.
- Van der Laan, L., Schalke, R. (2001). Reality versus policy: The delineation and testing of local labour market and spatial policy areas. *European Planning Studies*, 9 (2), 201–221. DOI: <https://doi.org/10.1080/09654310020027911>
- Vanhove, N., Klaassen, L. H. (1987). *Regional policy: A European approach*, 2 edition. Aldershot: Avebury, Gower Publishing Company Limited.
- Watts, M. (2009). Rules versus hierarchy: An application of fuzzy set theory to the assessment of spatial grouping techniques, V: M. Kolehmainen (ur.) et al. *Adaptive and natural computing algorithms* (str. 517–526). Berlin, Heidelberg: Springer-Verlag.
- Watts, M. (2013). Assessing Different Spatial Grouping Algorithms: An Application to the Design of Australia's New Statistical Geography. *Spatial Economic Analysis*, 8 (1), 92–112. DOI: <https://doi.org/10.1080/17421772.2012.753637>
- Vrišer, I. (1974). Mesta in urbano omrežje v SR Sloveniji. Značilnosti njihovega razvoja in družbeno gospodarskega pomena s posebnim ozirom na mala mesta. *Geografski zbornik*, 14 (3), 179–337.
- ZPok (2019). Osnutek Zakona o pokrajinah /ZPok/ (4. oktober 2019). Republika Slovenija, Državni svet. http://www.pokrajine.si/wp-content/uploads/2019/10/ZPok_4.10.2019.docx, pridobljeno 11. 12. 2019.



Drobne S. (2020). Kakovost funkcionalne regionalizacije po metodah CURDS in Intramax na makro ravni: študija primera za Slovenijo.

Geodetski vestnik, 64 (41), 13–32.

DOI: <https://doi.org/10.15292/geodetski-vestnik.2020.01.13-32>

doc. dr. Samo Drobne, univ. dipl. inž. geod.

Univerza v Ljubljani, Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo

Jamova cesta 2, SI-1000 Ljubljana, Slovenija

e-naslov: samo.drobne@fgg.uni-lj.si

Priloga A: Šifrant statističnih regij v Republiki Sloveniji v letih 2015–2018

Šifra statistične regije	Statistična regija
STR-1	pomurska
STR-2	podravska
STR-3	koroška
STR-4	savinjska
STR-5	zasavska
STR-6	posavska
STR-7	jugovzhodna Slovenija
STR-8	osrednjeslovenska
STR-9	gorenjska
STR-10	primorsko-notranjska
STR-11	goriška
STR-12	obalno-kraška

Priloga B: Šifrant makro regij v Sloveniji (Plut, 1999); imena so povzeta po Drobne (2019)

Šifra makro regije	Makro regija
MR-1	pomurska
MR-2	podravska
MR-3	savinjska
MR-4	dolenjsko-belokranjska
MR-5	osrednjeslovenska
MR-6	gorenjska
MR-7	goriška
MR-8	primorsko-notranjska

UEDBA NOVEGA SLOVENSKEGA VIŠINSKEGA SISTEMA (SVS2010)

IMPLEMENTATION OF THE NEW SLOVENIAN HEIGHT SYSTEM (SVS2010)

Klemen Medved, Klemen Kozmus Trajkovski, Sandi Berk, Bojan Stopar, Božo Koler

UDK: 528.024:531.717.3:531.719.4:(497.4)

Klasifikacija prispevka po COBISS.SI: 1.04

Prispelo: 2. 3. 2020

Sprejeto: 6. 3. 2020

DOI: 10.15292/geodetski-vestnik.2020.01.33-42

PROFESSIONAL ARTICLE

Received: 2. 3. 2020

Accepted: 6. 3. 2020

IZVLEČEK

V Sloveniji je bil pred kratkim uveden nov državni višinski referenčni sistem z imenom Slovenski višinski sistem 2010 in z oznako SVS2010, s katerim se nadomešča Slovenski višinski sistem 2000 z oznako SVS2000. Tokratna realizacija višinskega sistema temelji na novi nivelmanski in gravimetrični izmeri ter podatkih o plimovanju morja. Njegova uvedba v praksi prinaša spremembe višinskega datuma (prej Trst, zdaj Koper) in tudi tipa višin (prej normalne ortometrične, zdaj normalne). Posledično zamik višin med obema sistemoma ni konstanten, ampak so spremembe višin v razponu od 1,4 do 30,8 centimetra. Žal tudi ni enostavne transformacije med višinskima referenčnima sistemoma, ampak mora geodet na podlagi danih podatkov in zahtevane natančnosti izbrati ustrezno metodo lokalne transformacije oziroma preračuna. Geodetska uprava Republike Slovenije je v sodelovanju s Fakulteto za gradbeništvo in geodezijo Univerze v Ljubljani pripravila Tehnično navodilo za uporabo novega državnega višinskega sistema, v katerem je podrobneje predstavljeno stanje in metode določitve višin v državnem višinskem sistemu. Na voljo je tudi nov spletni program SiVis za pretvorbo z GNSS-izmero določenih višin v oba višinska referenčna sistema (SVS2000 in SVS2010). Zaradi težav, ki jih je povzročal (stari) model geoida AMG2000/Trst v bližini državne meje, je bil ta ustrezno ekstrapoliran in sedaj pokriva tudi obmejni pas sosednjih držav. Obema slovenskima višinskima referenčnima sistemoma sta bili dodeljeni tudi EPSG-kodi.

KLJUČNE BESEDE

SVS2000, SVS2010, transformacija, višinska referenčna ploskev, višinski sistem

ABSTRACT

Recently, a new national height reference system was implemented: the Slovenian Height System 2010 (SVS2010). This new system replaced the Slovenian Height System 2000 (SVS2000). It is a new realisation of a national height system, which is based on new levelling and gravity surveys and recent tide gauge data. Its implementation changes the height datum (from Trieste to Koper) as well as the type of heights (from normal-orthometric to normal). Consequently, differences between the old and new height reference systems from 1.4 cm to 30.8 cm were detected. Unfortunately, there is no simple transformation between the two height reference systems. The surveyor must choose an appropriate method of local transformation or recalculation based on the given data and the required accuracy. To provide all necessary information for the users, the Surveying and Mapping Authority of the Republic of Slovenia has, in cooperation with the Faculty of Civil and Geodetic Engineering at the University of Ljubljana, prepared a new Technical instruction for the use of the new national height system. Online software called SiVis is also available for converting GNSS-based heights into both height reference systems (SVS2000 and SVS2010). Due to some problems with the (old) AMG2000/Trst geoid model near the national boundary, this model was extrapolated to a buffer covering parts of neighbouring countries. EPSG codes for both national height reference systems of Slovenia were also created.

KEY WORDS

SVS2000, SVS2010, transformation, height reference surface, height system

1 UVOD

Po Zakonu o državnem geodetskem referenčnem sistemu iz leta 2014 (Uradni list RS, št. 25/2014) je državni prostorski koordinatni sistem določen s parametri horizontalne in vertikalne sestavine ter z državno kartografsko projekcijo. Parametri horizontalne sestavine so bili določeni že v istem letu z Uredbo o določitvi parametrov horizontalne sestavine in gravimetričnega dela vertikalne sestavine državnega prostorskega koordinatnega sistema, imenih teh sestavin in državne kartografske projekcije (Uradni list RS, št. 57/2014). Konec leta 2018 je vlada Republike Slovenije sprejela še Uredbo o določitvi parametrov višinskega dela vertikalne sestavine državnega prostorskega koordinatnega sistema (Uradni list RS, št. 80/2018), s katero je bil uveden novi državni višinski sistem z imenom Slovenski višinski sistem 2010 in oznako SVS2010. Gre za sistem normalnih višin v višinskem datumu Koper, ki je nadomestil stari sistem normalnih ortometričnih višin v višinskem datumu Trst (Slovenski višinski sistem 2000 – SVS2000). Za uvedbo novega višinskega sistema so bile izvedene številne dolgotrajne strokovne naloge in aktivnosti. Z uvedbo novega višinskega sistema je omogočena tudi kakovostna podpora uporabi sodobnih tehnologij za določanje horizontalnega položaja in višine točk. Sama uredba ne predpisuje rokov za prehod v novi višinski sistem, vsekakor pa se priporoča, da tako upravljavci podatkovnih zbirk kot tudi uporabniki podatkov čim prej izvedejo prehod v novi višinski sistem, saj ta omogoča kakovostnejše določanje nadmorskih višin.

Z uvajanjem novega državnega višinskega sistema se uporabnikom odpirajo številna strokovna vprašanja, ki zahtevajo poznavanje zgodovine slovenskih višinskih sistemov in sedanjega stanja. Zato je Geodetska uprava Republike Slovenije v sodelovanju s Fakulteto za gradbeništvo in geodezijo Univerze v Ljubljani pripravila Tehnično navodilo za uporabo novega državnega višinskega sistema (Navodilo, 2020).

2 TEHNIČNO NAVODILO ZA UPORABO NOVEGA DRŽAVNEGA VIŠINSKEGA SISTEMA

Samo tehnično navodilo je na prvi pogled precej obširno, saj je bil namen uporabnikom predstaviti čim širšo sliko problematike višinskih sistemov, predvsem pa obravnava uporabo novega državnega višinskega sistema Slovenije. Tehnično navodilo za uporabo novega državnega višinskega sistema nadomešča Navodilo za določanje višin z uporabo globalnih navigacijskih satelitskih sistemov, različica 2.0 (Navodilo, 2010).

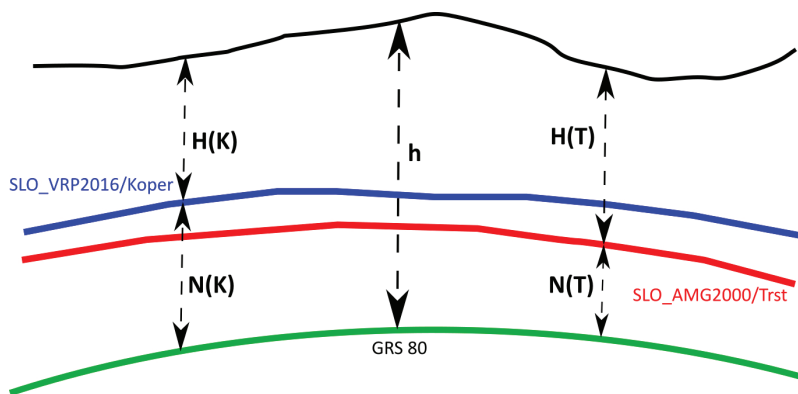
Uvodoma je predstavljena kratka zgodovina višinskih datumov v Sloveniji, saj jih je bilo na tem območju kar nekaj, kar je povzročalo še dodatne težave. Sledi pregled osnovnih značilnosti slovenskega državnega višinskega sistema SVS2010. Več podatkov o samih razlogih, metodah in načinu določitve ter izračunu normalnih višin v novem višinskem sistemu je na voljo v več člankih, ki so javno dostopni in podajajo številne za uporabnika zanimive informacije (npr. Koler in sod., 2007; Kuhar in sod., 2011; Koler in sod., 2017; Kuhar, 2017; Koler in sod., 2019; Sterle in sod., 2019). Predstavljena je tudi uporaba višinske referenčne ploskve SLO_VRP2016/Koper za potrebe GNSS-višinomerstva.

Vemo, da je glede na metodo izmere in uporabljeno geodetsko mersko opremo mogoče določiti višine z različno natančnostjo. Pri tem morajo biti meritve strokovno korektno obdelane in izravnane. Različne

razrede natančnosti določitve višin obravnava standard DIN 18710-1, ki se sicer v Sloveniji ne uvaja, je pa lahko izhodišče in usmeritev za izvedbo različnih geodetskih del. V splošnem se za določanje višin uporabljajo metode geometričnega nivelmana, trigonometričnega višinomerstva, GNSS-višinomerstva ter njihova kombinacija. Za najnatančnejše geodetske meritve so, poleg primerne geodetske metode izmere, potrebni predvsem ustrezna merska oprema in pribor, ki mora zagotavljati ustrezne tehnične standarde in morata biti kalibrirana.

3 DOLOČITEV NADMORSKIH VIŠIN Z GNSS-VIŠINOMERSTVOM

V geodetski praksi se za določitev višin seveda največ uporablja sodobna GNSS-tehnologija, predvsem zaradi ekonomičnosti postopkov ter relativno enostavne in hitre izmere. Pri tem se določi geometrično definirana elipsoidna višina h . Če želimo določiti nadmorsko višino H , ji moramo odšteti ustrezno (kvazi)geoidno višino oziroma geoidno ondulacijo N (slika 1). V praksi to naredimo z uporabo ustreznih modelov geoida (npr. SLO_AMG2000/Trst ali SLO_VRP2016/Koper).



Slika 1: Različni tipi višin in referenčnih ploskev (Kozmus Trajkovski in Stopar, 2019).

To pomeni, da je natančnost določitve nadmorskih višin H z GNSS-višinomerstvom odvisna tako od natančnosti elipsoidne kot (kvazi)geoidne višine. Tukaj se pojavi problem vprašljive kakovosti določitve elipsoidnih višin (še posebej, ko so določene na podlagi obdelave enega baznega vektorja, kot je pri kinematičnih metodah izmere, in ne iz izravnave GNSS-mreže) in večinoma nepoznane dejanske kakovosti modela (kvazi)geoida na območju izmere. Te metode izmere torej ne moremo uporabiti, če zahtevana natančnost določitve nadmorskih višin presega 2 centimetra, saj je ocenjena natančnost določitve kvazigeoida (SLO_VRP2016/Koper) na območju Slovenije slabša. Načeloma je mogoče doseči natančnost od 2 do 5 centimetrov z uporabo ustrezne metodologije in kontrolo opazovanj z navezavo na nivelmansko mrežo višjega reda.

Z analizami kakovosti modelov (kvazi)geoidov dobimo okvirno sliko natančnosti teh modelov, kot je razvidno iz preglednice 1. Pri tem se je treba zavedati, da to velja v splošnem, saj so ocene opravljene le na podlagi izbora števila diskretnih GNSS-nivelman točk, tako imenovanega vzorca. Tako se zgodi, da opisljiva statistična kakovost modela (kvazi)geoida ni enaka njegovi dejanski kakovosti na konkretnem območju izmere.

Preglednica 1: Primerjava kakovosti določitve nadmorskih višin s staro in novo višinsko referenčno ploskvijo.

Razlika	SLO_VRF2016/Koper [cm]	SLO_AMG2000/Trst [cm]
Min	-10,2	-31,8
Max	7,0	10,6
Razpon	17,2	42,4
Sredina	-0,8	-8,5

Pri tem je zanimiv podatek, da gre pri uporabi modela geoida v starem višinskem sistemu SVS2000 za sistematičen zamik višin za -8,5 centimetra. To je posledica dejstva, da je bil model geoida vpet v višinski sistem pred uvedbo SVS2000 (višinski datum Trst 1875), torej pred preračunom nivelmanske mreže v enoten višinski datum Trst (Koler in Vardjan, 2003). To pomembno dejstvo, ki govori o kakovosti višin, določenih z GNSS-višinomerstvom, je treba upoštevati pri vseh interpretacijah/uporabah tako določenih višin.

4 TRANSFORMACIJA VIŠIN MED SVS2000 IN SVS2010

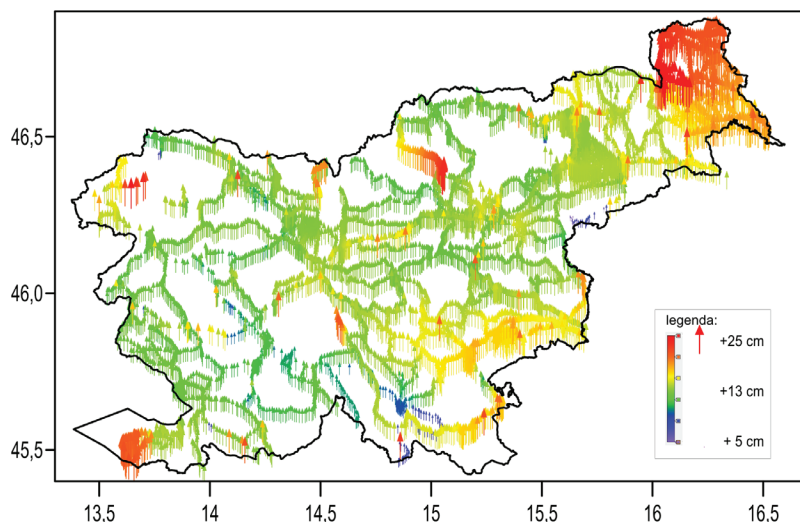
Razlike višin med SVS2010 in SVS2000 na območju Slovenije iz različnih razlogov niso konstantne. Višine točk so izmerjene oziroma določene na različne načine: običajno z metodo geometričnega nivelmana, trigonometričnega višinomerstva ali GNSS-višinomerstva. Višinske razlike med točkami oziroma višine posameznih točk so lahko določene tudi z uporabo različnih metod izmere, na primer ko je višina izhodiščne točke določena z GNSS-višinomerstvom, višine detajlnih točk pa s terestričnimi metodami višinomerstva. Za nekatere podatke je način izmere poznan in zapisan v metapodatkih različni zbirki, za druge podatke pa način določitve višin točk ni poznan.

Zato je transformacijo višin iz SVS2000 v SVS2010 treba izvesti na podlagi predhodne analize vplivov sprememb višin za uporabnike prostorskih podatkov ter analize možnosti in primernosti transformacije višin v prostorskih podatkovnih zbirkah v SVS2010. V splošnem transformacijo izvedemo, če je razlika višin med višinskima sistemoma statistično značilna glede na natančnost določitve višin (vsaj dvakrat večja od natančnosti določitve višin). Način transformacije višin iz SVS2000 v SVS2010 je treba na izdelku (načrtu, lokacijskem prikazu) oziroma v podatkovni zbirki ustrezno zabeležiti/označiti.

4.1 Zamik med višinskima sistemoma

Zamik višin v obeh višinskih referenčnih sistemih (SVS2000/Trst in SVS2010/Koper) vključuje tako zamik v višinskih datumih (izhodiščih) kot tudi razlike zaradi različnih tipov višin (normalne ortometrične oziroma normalne višine) in ne nazadnje zaradi različnih epoh realizacij obeh višinskih koordinatnih sistemov in višinskih pomikov reperjev na območju Slovenije.

Razlika med novim višinskim datumom Koper in starim višinskim datumom Trst, prikazana na vodometrični lati ob mareografski postaji v Kopru, znaša 15,5 centimetra (SVS2000/Trst minus SVS2010/Koper). Ta vrednost se lahko uporabi kot najenostavnejši »grobi« zamik med starim in novim višinskim sistemom. Srednja vrednost razlik višin vseh reperjev, določenih v obeh višinskih datumih (na vzorcu 12.808 reperjev), je 13,1 centimetra, najmanjša razlika je 1,4 centimetra in največja 30,8 centimetra (slika 2).



Slika 2: Razlike višin reperjev med SVS2000 (datum Trst) in SVS2010 (datum Koper).

To pomeni, da v praksi transformacijo višin izvedemo na podlagi analize razlik nadmorskih višin v SVS2000 in SVS2010 na reperjih, ki so stabilizirani na ali v neposredni bližini transformiranega območja. Kakovost in zanesljivost transformacije je odvisna od kakovosti reperjev, ki je za reperje nižjih redov slabša. Zato je priporočljivo upoštevati reperje višjih redov. Transformiran lokacijski prikaz kontroliramo tako, da posameznim nedvoumno določenim detajlnim točkam z znano višino ponovno določimo (izmerimo) višino v SVS2010.

4.2 Transformacija višin, določenih z GNSS-višinomerstvom

Osnova za transformacijo višin, določenih z GNSS-višinomerstvom, sta višinski referenčni ploskvi, ki sta (bili) uporabljeni pri določitvi višin z GNSS-višinomerstvom. To sta SLO_AMG2000/Trst oziroma SLO_VRP2016/Koper. Transformacijo točk lahko izvedemo s programom SiVis, ki je prosto dostopen na spletnih straneh Geodetske uprave Republike Slovenije. Transformacija višin se vedno izvaja za točke s horizontalnimi koordinatami v novem državnem referenčnem koordinatnem sistemu (D96/TM), saj sta oba modela višinskih referenčnih ploskev na voljo v tem sistemu.

4.2.1 SiVis

SiVis je program za transformacijo višin, ki deluje v okviru spletne aplikacije za transformacije (SiTraNet). Lastnik programa je Geodetska uprava Republike Slovenije, razvila pa ga je Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo Univerze v Ljubljani. Dostopen je na povezavi: <http://sitranet.si/sivis.html>.

Aplikacija omogoča interaktiven vnos koordinat posamezne točke ali vnos koordinat niza točk v datoteki. Koordinate vhodnih točk so lahko geografske (φ , λ) ali ravninske (n , e). Uporabnik izbere tip izvornih višin in tip ciljnih višin (rezultata). Aplikacija izračuna in izpiše vse višine (H , b in N), potrebne za izračun višin (slika 3).

SiVis - Pretvorba višin med višinskimi sistemi RS

Interaktivni vnos koordinat

φ / n

λ / e

h nad GRS80

Rezultat:

45.25 < φ < 46.99992, 13.25 < λ < 16.75

Branje podatkov iz datoteke

Datoteka: Datoteka ni izbrana.

* Datoteka max 60 KB - pribl. 1500 točk

[Navodila - PDF](#) [Navodila - HTML](#)

v2.0 - maj 2019

Podatki

fi	45.987890
lambda	15.789654
H v SVS2000 (Trst)	100.0000

Rezultati

N v SVS2000 (Trst)	45.5891
N v SVS2010 (Koper)	45.8337
H v SVS2010 (Koper)	99.7554

[Nov izračun](#)

Slika 3: Začetni zaslon aplikacije SiVis, v2.0, in primer izpisa izračunanih višin.

Uporaba aplikacije je zelo enostavna, na voljo pa so tudi uporabniška navodila (Kozmus Trajkovski in Stopar, 2019). V navodilih so s primeri opisane vse mogoče pretvorbe med višinami, ki so lahko podane v naslednjih sistemih:

- H_v SVS2010 (Koper),
- H_v SVS2000 (Trst) ali kot
- h nad elipsoidom GRS80.

Izračun se nato izvede na podlagi izračuna geoidne višine (N) iz ustreznega modela višinske referenčne ploskve (SLO_VRP2016/Koper ali SLO_AMG2000/Trst). Za interpolacijo se uporabi metoda bikubičnih zlepkov, ki temelji na kubični interpolaciji na območju 4×4 mrežnih točk. Rezultati izvedenega izračuna se izpišejo v novem oknu (slika 3).

Pri tem je treba poudariti, da je aplikacija namenjena izključno izračunu točk, določenih z metodo GNSS-višinomerstva. Zato jo je treba uporabljati s kritično presojo in ne kot vsesplošni transformacijski model za območje Slovenije. Če je bil na primer stari lokacijski prikaz izdelan na podlagi GNSS-višinomerstva (višine izhodiščnih točk) in klasičnih metod višinomerstva, s programom SiVis transformiramo le izhodiščne točke. Ostale višine na transformiranem lokacijskem prikazu prikažemo na podlagi starih

podatkov merjenih višinskih razlik s klasičnimi metodami višinomerstva. Če s to metodo transformiramo višine, ki niso bile pridobljene z metodo GNSS-izmere, namreč lahko dobimo napačne višine, kar je posledica slabše kakovosti starega modela geoida.

Za razjasnitev tega problema si lahko ogledamo primer treh testnih točk (reperjev), na katerih imamo znane (podane) vse višine (H_{kp} , H_{Ts} in h). Prikaz izračuna je podan v preglednici 2, pri čemer gre za točke:

- točka 1: reper N1-11A BP-597 s koordinatami 514558 (e) in 143704 (n),
- točka 2: reper N1-9/10 A-121 s koordinatami 488868 (e) in 88969 (n),
- točka 3: reper N1-13A CP-340 s koordinatami 604412 (e) in 168330 (n).

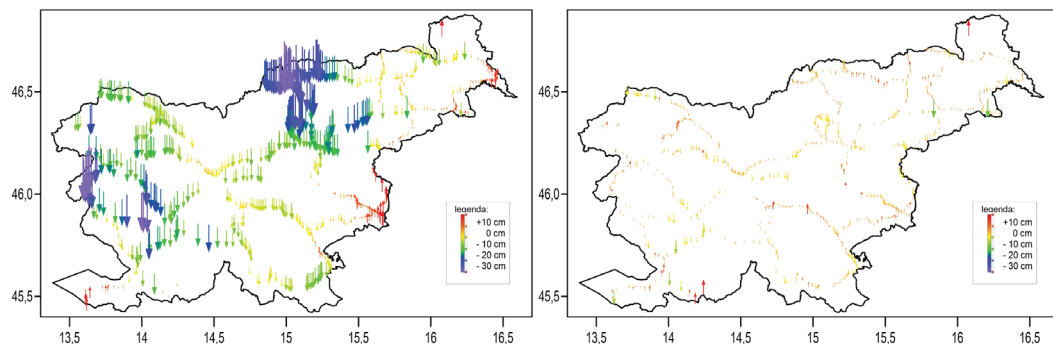
Preglednica 2: Primer transformacije višin na podlagi višinskih referenčnih ploskev.

Oznaka	$H_{Ts}/H_{kp}/h$ merjena [m]	N [m]	$H'=h-N$ [m]	$\Delta=H'-H$ [cm]	$H''=H_{Ts}+N_{Ts}-N_{kp}$ [m]	$\Delta^*=H_{kp}-H''$ [cm]
Točka 1						
SVS2000/Trst	545,740	47,309	545,519	-22,1		
SVS2010/ Koper	545,611	47,219	545,609	-0,2	545,830	-21,9
GRS80	592,828					
Točka 2						
SVS2000/Trst	308,107	46,363	308,027	-8,0		
SVS2010/ Koper	307,973	46,422	307,968	-0,5	308,048	-7,5
GRS80	354,390					
Točka 3						
SVS2000/Trst	171,573	44,993	171,600	2,7		
SVS2010/ Koper	171,398	45,184	171,409	1,1	171,382	1,6
GRS80	216,593					

Obrazložitev preglednice 2: v stolpcu *Oznaka* so navedene točke in višinski sistem, na katerega se nanašajo podatki; v $H_{Ts}/H_{kp}/h$ *merjena* so izmerjene višine, pridobljene z niveliranjem (pri čemer se H_{kp} nanaša na SVS2010 in H_{Ts} na SVS2000) oziroma GNSS-izmero (h); N je geoidna višina, pridobljena z interpolacijo iz modela ustrezne višinske referenčne ploskve; $H'=h-N$ je nadmorska višina, izračunana kot razlika med merjeno elipsoidno in geoidno višino; $\Delta=H'-H$ je razlika med izračunano višino (GNSS-višinomerstvo) in dejansko nivelirano višino (H_{kp}/H_{Ts}); $H''=H_{Ts}+N_{Ts}-N_{kp}$ se nanaša samo na višino v višinskem datumu Koper in predstavlja v SVS2010 (Koper) transformirano višino točke, ki je bila nivelirana v SVS2000 (Trst); transformirana je na podlagi obeh višinskih referenčnih ploskev; $\Delta^*=H_{kp}-H''$ se nanaša samo na višino v višinskem datumu Koper in je razlika med nivelirano (dejansko) višino H_{kp} in transformirano višino H'' .

Preglednica 2 nazorno prikaže predvsem naslednje: za transformacijo višin lahko uporabimo aplikacijo SiVis samo, če so višine v starem višinskem sistemu (SVS2000/Trst) pridobljene z GNSS-višinomerstvom. V nasprotnem primeru lahko z uporabo te transformacije naredimo napako, ki je posledica neakovostnega modela geoida (predvsem SLO_AMG2000/Trst). Kot vidimo na navedenem primeru (točka 1), znaša ta napaka več kot 20 centimetrov (Δ^*).

Velikost napak, ki so posledica neakovostnega modela geoida in napetosti v nivelmansi mreži, je odvisna od lokacije. Na sliki 4 so prikazana odstopanja, ki so izračunana na vzorcu 871 reperjev, vključenih v nivelmansko mrežo 1. reda. Odstopanja (Δ) so razlike med niveliranimi višinami (H) in višinami, pridobljenimi z GNSS-višinomerstvom ($H' = h - N$). Statistični podatki teh vrednosti so podani v preglednici 1.



Slika 4: Odstopanja niveliranih višin od višin, pridobljenih z GNSS-višinomerstvom – levo v SVS2000/Trst in desno v SVS2010/Koper.

Ko so torej višine v starem višinskem sistemu pridobljene s terestrično metodo izmere, je treba uporabiti lokalne transformacijske parametre, določene iz okoliških reperjev.

4.2.2 Ekstrapoliran geoid AMG2000/Trst

Uradni model geoida (višinska referenčna ploskev), ki se uporablja v višinskem sistemu SVS2000 (višinski datum Trst 1875), nosi oznako SLO_AMG2000/Trst. Med težavami, ki so se pojavljale pri njegovi uporabi, je bila tudi ta, da je »odrezan« po generalizirani liniji državne meje. To je v praksi pomenilo, da ga na posameznih obmejnih območjih ni bilo mogoče uporabljati. Posledično se z GNSS-višinomerstvom ni dalo določiti (izmeriti) nadmorskih višin. Zato smo obstoječi model geoida ekstrapolirali tudi na območja čez državno mejo.

Oznaka razširjenega modela je SLO_AMG2000E/Trst in je dostopen na spletnih straneh Geodetske uprave Republike Slovenije (VRP, 2020). Pri tem je treba posebej poudariti, da gre za zgolj ekstrapolacijo modela in ne njegov ponovni izračun/preračun. Ekstrapolirani model je uporabljen tudi v programu SiVis.

4.2.3 EPSG-kode za višinska sistema Slovenije

Zbirka geodetskih parametrov EPSG vsebuje podrobne opise referenčnih koordinatnih sistemov za ves svet. Zbirko vzdržuje in vodi mednarodno združenje proizvajalcev nafte in plina IAOG (International Association of Oil & Gas Producers), ime pa še vedno nosi po evropski skupini za naftne raziskave EPSG (European Petroleum Survey Group), ki je zbirko zasnovala in je kasneje postala sestavni del IAOG. V letu 2018 je bila zbirka dopolnjena z nekaterimi dodatnimi slovenskimi referenčnimi koordinatnimi sistemi – tudi z EPSG-kodama za novi višinski datum in višinski sistem (Berk in sod., 2018). Seznam EPSG-kod, ki se nanašajo na območje Slovenije, je sicer dostopen na spletnih straneh Geodetske uprave Republike Slovenije (EPSG-kode, 2020). Tu podajamo samo EPSG-kodi, ki opisujeta oba slovenska višinska sistema (preglednica 3).

Preglednica 3: Slovenska višinska referenčna sistema v zbirki EPSG.

Višinski referenčni sistem	Višinski datum	Višinski sistem	Kratek opis
EPSG 5779	EPSG 5177	EPSG 6499	SVS2000/H – slovenski višinski datum 2000 (Trst), sistem normalnih ortometričnih višin
EPSG 8690	EPSG 1215	EPSG 6499	SVS2010/H – slovenski višinski datum 2010 (Koper), sistem normalnih višin

5 SKLEP

Prehod v nov slovenski državni višinski sistem je bil dolgotrajen postopek. Že priprave na njegovo uvedbo, ki so vključevale res veliko strokovnega dela z analizami, izmerami in izračuni, so trajale več kot desetletje. Rezultat je nov, kakovosten višinski sistem, vendar bodo vse prednosti, ki jih prinaša, uporabnikom dostopne le, če ga bodo pravilno uporabili. Ključno pri tem je, da se za vsak geodetski izdelek ali podatkovno zbirko vodi podatek o uporabljenem višinskem sistemu. S tem bo omogočena enostavna sledljivost in pravilna interpretacija podatkov. V nasprotnem primeru bo nastajala zmeda, ki lahko privede do nestrokovnih odločitev, te pa lahko povzročajo gospodarsko škodo.

Spremembe višin so pri prehodu iz starega (SVS2000) v novi višinski sistem (SVS2010) v razponu od –1,4 do –30,8 centimetra, kar pomeni, da velike večine prostorskih podatkovnih zbirk uvedba novega višinskega sistema ne zadeva – transformacija podatkov ni potrebna, saj so spremembe višin večinoma manjše od natančnosti njihove določitve. Prav tako ni bilo mogoče vzpostaviti enotnega transformacijskega modela (na državni ravni), saj so spremembe višin za posamezne nivelmanske poligone visoke točnosti zelo specifične in bi jih bilo težko zvezno interpolirati na celotno državno ozemlje. Uvedbo novega višinskega sistema bo treba upoštevati pri geodetskih načrtih velikih meril in inženirskih projektih, še posebej infrastrukturnih (vodovod, kanalizacija, odvodnjavanje, protipoplavna zaščita ipd.), kjer bo treba izvesti transformacijo na ravni delovišča.

Nekoliko večje spremembe višin – do nekaj decimetrov – pa se pojavijo pri prehodu v novi višinski sistem za višine, ki temeljijo na GNSS-višinomerstvu, in sicer zaradi slabše kakovosti starega modela geoida. V tem primeru je mogoče in tudi smiselno (na državni ravni) izvesti transformacijo v novi višinski sistem, ki temelji na pripadajočih višinskih referenčnih ploskvah. Tako je že predvidena transformacija v SVS2010 za celotno zbirko državnih lidarskih podatkov, ki so bili zajeti v SVS2000 z uporabo modela geoida SLO_AMG2000/Trst.

Literatura in viri:

- Berk, S., Boldin, D., Šavrič, B. (2018). Nedavne posodobitve zbirke geodetskih parametrov EPSG in pregled podatkov, pomembnih za Slovenijo. *Geodetski vestnik*, 62 (4), 668–678.
- EPSG-kode (2020). EPSG kode za Slovenijo. Ljubljana: Geodetska uprava Republike Slovenije, <https://www.e-prostor.gov.si/zbirke-prostorskih-podatkov/drzavni-prostorski-koordinatni-sistem/eps-g-kode-za-slovenijo/>, pridobljeno 14. 2. 2020.
- Koler, B., Medved, K., Kuhar, M. (2007). Uvajanje sodobnega višinskega sistema v Sloveniji. *Geodetski vestnik*, 51 (4), 777–792.
- Koler, B., Stopar, B., Sterle, O., Urbančič, T., Medved, K. (2019). Nov slovenski višinski sistem SVS2010. *Geodetski vestnik*, 63 (1), 27–40. DOI: <https://doi.org/10.15292/geodetski-vestnik.2019.01.27-40>
- Koler, B., Urbančič, T., Kuhar, M., Pavlovčič Prešeren, P., Stopar, B., Sterle, O. (2017).

- Pregled višinskih datumov Slovenije. Raziskave s področja geodezije in geofizike 2016. 22. srečanje Slovenskega združenja za geodezijo in geofiziko, Ljubljana, 26. januar 2017. Zbornik del, str. 93–98. Ljubljana: Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo.
- Koler, B., Vardjan, N. (2003). Analiza stanja nivojskih mrež Republike Slovenije. *Geodetski vestnik*, 47 (3), 251–262.
- Kozmus Trajkovski, K., Stopar, B. (2019). Navodila za uporabo programa za pretvorbo višin med višinskimi sistemi RS: SiVis, v2.0. Ljubljana: Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo, <http://sitranet.si/navodila-sivis2.pdf>, pridobljeno 14. 2. 2020.
- Kuhar, M. (2017). Pot do novega modela geoida v Sloveniji. *Geodetski vestnik*, 61 (2), 187–200. DOI: <http://doi.org/10.15292/geodetski-vestnik.2017.02.187-200>
- Kuhar, M., Berk, S., Koler, B., Medved, K., Omang, O., Solheim, D. (2011). Vloga kakovostnega višinskega sistema in geoida za izvedbo GNSS-višinomerstva. *Geodetski vestnik*, 55 (2), 226–234. DOI: <http://doi.org/10.15292/geodetski-vestnik.2011.02.226-234>
- Navodilo (2010). Navodilo za določanje višin z uporabo globalnih navigacijskih satelitskih sistemov. Ljubljana: Geodetska uprava Republike Slovenije, https://www.e-prostor.gov.si/fileadmin/DPKS/Navodila/Navodilo_za_GNSS-visinomerstvo_v2_2010_GURS.pdf, pridobljeno 14. 2. 2020.
- Navodilo (2020). Tehnično navodilo za uporabo novega državnega višinskega sistema. Ljubljana: Geodetska uprava Republike Slovenije, <https://www.e-prostor.gov.si/zbirke-prostorskih-podatkov/drzavni-prostorski-koordinatni-sistem/navodila/>, pridobljeno 2. 3. 2020.
- Sterle, O., Koler, B. (2019). Določitev novega višinskega datuma Slovenije. *Geodetski vestnik*, 63 (1), 13–26. DOI: <http://doi.org/10.15292/geodetski-vestnik.2019.01.13-26>
- Uredba (2014). Uredba o določitvi parametrov horizontalne sestavine in gravimetričnega dela vertikalne sestavine državnega prostorskega koordinatnega sistema, imen teh sestavin in državne kartografske projekcije. Uradni list Republike Slovenije, št. 57/2014.
- Uredba o določitvi parametrov višinskega dela vertikalne sestavine državnega prostorskega koordinatnega sistema. Uradni list Republike Slovenije, št. 80/2018.
- VRP (2020). Višinska referenčna ploskev (geoid). Ljubljana: Geodetska uprava Republike Slovenije, <https://www.e-prostor.gov.si/zbirke-prostorskih-podatkov/drzavni-prostorski-koordinatni-sistem/vertikalna-sestavina/visinska-referenca-ploskev-geoid/>, pridobljeno 14. 2. 2020.
- Zakon o državnem geodetskem referenčnem sistemu – ZDGRS. Uradni list Republike Slovenije, št. 25/2014.



Medved K., Kozmus Trajkovski K., Berk S., Stopar B., Koler B. (2020). Uvedba novega slovenskega višinskega sistema (SVS2010). *Geodetski vestnik*, 64 (1), 33–42.
DOI: <https://doi.org/10.15292/geodetski-vestnik.2020.01.33-42>

mag. Klemen Medved, univ. dipl. inž. geod.

Geodetska uprava Republike Slovenije, Urad za geodezijo
Zemljemerska ulica 12, SI-1000 Ljubljana
e-naslov: klemen.medved@gov.si

asist. dr. Klemen Kozmus Trajkovski, univ. dipl. inž. geod.

Univerza v Ljubljani, Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo
Jamova cesta 2, SI-1000 Ljubljana
e-naslov: klemen.kozmus-trajkovski@fgg.uni-lj.si

Sandi Berk, univ. dipl. inž. geod.

Geodetska uprava Republike Slovenije, Urad za geodezijo
Zemljemerska ulica 12, SI-1000 Ljubljana
e-naslov: sandi.berk@gov.si

prof. dr. Bojan Stopar, univ. dipl. inž. geod.

Univerza v Ljubljani, Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo
Jamova cesta 2, SI-1000 Ljubljana
e-naslov: bojan.stopar@fgg.uni-lj.si

doc. dr. Božo Koler, univ. dipl. inž. geod.

Univerza v Ljubljani, Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo
Jamova cesta 2, SI-1000 Ljubljana
e-naslov: bozo.koler@fgg.uni-lj.si

ETRS89/D96-17 – REZULTAT GNSS-IZMERE EUREF SLOVENIJA 2016

ETRS89/D96-17 – A RESULT OF THE EUREF SLOVENIA 2016 GNSS CAMPAIGN

Sandi Berk, Oskar Sterle, Klemen Medved, Bojan Stopar

UDK: 521.181(497.4)

Klasifikacija prispevka po COBISS.SI: 1.01

Prispelo: 12. 2. 2020

Sprejeto: 12. 3. 2020

DOI: 10.15292/geodetski-vestnik.2020.01.43-67

SCIENTIFIC ARTICLE

Received: 12. 2. 2020

Accepted: 12. 3. 2020

IZVLEČEK

Horizontalna sestavina državnega prostorskega referenčnega sistema Slovenije temelji na EUREF GPS-izmerah pasivne GNSS-mreže EUREF-točk v letih 1994–1996. Obe državni aktivni GNSS-mreži – SIGNAL in kombinirana geodetska mreža 0. reda – sta bili vzpostavljeni naknadno, kar povzroča neskladnost koordinat GNSS-točk. Poleg tega naj bi po dobrih dveh desetletjih od vzpostavitve državnega horizontalnega referenčnega koordinatnega sistema (D96) temu 'potekel rok trajanja' tudi zaradi precej dejavne tektonike. V letu 2016 je bila izvedena nova EUREF GNSS-izmera z namenom preveriti in izboljšati kakovost koordinat GNSS-točk v Sloveniji. Prinesla je novo realizacijo ETRS89 v Sloveniji – geodetski datum D17. Slednji zaradi prevelikih koordinatnih razlik glede na D96 ni bil uveljavljen neposredno. Izbran je bil pragmatičen pristop, ki kot se le dá malo spremeni obstoječe koordinate, vendar pa upošteva tudi dejanske spremembe v fizičnem prostoru in odpravlja nastala trenja v GNSS-mrežah. Nove koordinate temeljijo tako na stari (D96) kot tudi novi (D17) realizaciji ETRS89 in so dobile oznako D96-17. Glede na zahtevano natančnost izmere v zemljiškem katastru ostanejo vse doslej določene koordinate zemljiškokatastrskih točk nespremenjene. Glavna korist posodobitve koordinat v ključnih GNSS-mrežah v državi je višja natančnost in točnost določanja položajev v prihodnje.

KLJUČNE BESEDE

D96-17, ETRS89, EUREF, geodetski datum, koordinatni sistem, referenčni sestav

ABSTRACT

The horizontal component of the national spatial reference system of Slovenia is based on EUREF GPS campaigns at the passive GNSS-network of EUREF sites in the years 1994–1996. Both active GNSS networks (the SIGNAL and Zero-Order Combined Geodetic Networks) were established afterwards, which caused inconsistencies in coordinates based on GNSS surveys. Furthermore, the lifetime of the national coordinate reference system (D96) might be expired after two decades from its realization due to relatively active tectonics. A new GNSS campaign was carried out in 2016 in order to validate and improve the quality of coordinates of GNSS sites in Slovenia. The result is a new realization of ETRS89 referred to as D17. However, it was not implemented directly due to substantial coordinate differences when compared to the previous realization. A pragmatic approach was chosen that attempted to keep changes of coordinates as small as possible. It eliminated inconsistencies but also distortions in GNSS networks caused by the changes in physical space. The new coordinates are based on both the old (D96) and new (D17) realizations of ETRS89 and are denoted by D96-17. According to the requirements for the quality of coordinates in the land cadastre surveys, all the previously determined coordinates of cadastral points remain unchanged. The main benefit of the update of coordinates in the core GNSS networks in the country is more precise and accurate positioning in the future.

KEY WORDS

D96-17, ETRS89, EUREF, geodetic datum, coordinate system, reference frame

1 UVOD

Horizontalna sestavina slovenskega državnega prostorskega koordinatnega sistema temelji na kombiniranem izračunu EUREF GPS-izmer, ki so bile izvedene v letih 1994, 1995 in 1996. Izračun je bil predstavljen (Berk in sod., 2004) in potrjen (EUREF Resolutions, 2003) na simpoziju EUREF 2003 v Toledu. Gre za slovensko realizacijo Evropskega terestričnega referenčnega sistema 1989 (ETRS89), ki jo označujemo z ETRS89/D96 (v nadaljevanju: D96 – geodetski datum 1996) – srednja epoha opazovanj za vse tri EUREF GPS-izmere je 1995,55; gre torej za letnico, dobljeno z zaokrožitvijo srednje epohe opazovanj. Ogrodje realizacije je ITRF96/ETRF96.

S časovnim oddaljevanjem od referenčne epohe je, glede na precej dejavno tektoniko na območju Slovenije sicer, kakovostno vzpostavljenemu koordinatnemu sistemu potekel rok uporabe (npr. Caporali in sod., 2011; Sterle, 2015). Zato je Geodetska uprava Republike Slovenije po dveh desetletjih od zadnje EUREF GPS-izmere izvedla novo GNSS-izmero (tokrat so bila uporabljena GPS- in GLONASS-opazovanja), imenovano EUREF Slovenija 2016 (v nadaljevanju: EUREF-izmera 2016), s cilji:

- zagotoviti kakovostne koordinate točk v državnem referenčnem koordinatnem sistemu,
- preveriti in izboljšati skladnost koordinat v državni mreži EUREF-točk in stalnih GNSS-postaj omrežja SIGNAL,
- povezati mrežo EUREF-točk in omrežje SIGNAL s kombinirano geodetsko mrežo 0. reda ter
- ugotoviti vplive recentne tektonike na ozemlju Slovenije na kakovost obstoječe realizacije državnega horizontalnega koordinatnega sistema Slovenije.

Izračun osnovne mreže EUREF-izmere 2016, ki je vključevala podniz vseh točk (omejitev na uradne EUREF-točke v Sloveniji in GNSS-postaje 0. reda) in zgolj meritve za čas izmere na izbranih pasivnih GNSS-točkah (skupaj 21 dnevnih sesij), je bil predstavljen (Berk in sod., 2018) in potrjen (EUREF Resolutions, 2018) na simpoziju EUREF 2018 v Amsterdamu. Rezultat je nova realizacija ETRS89 v Sloveniji z oznako ETRS89/D17 (v nadaljevanju: D17 – geodetski datum 2017) – srednja epoha EUREF-izmere 2016 je 2016,75; tudi tu gre za letnico, dobljeno z zaokrožitvijo srednje epohe opazovanj. Ogrodje realizacije je IGB08/ETRF2000.

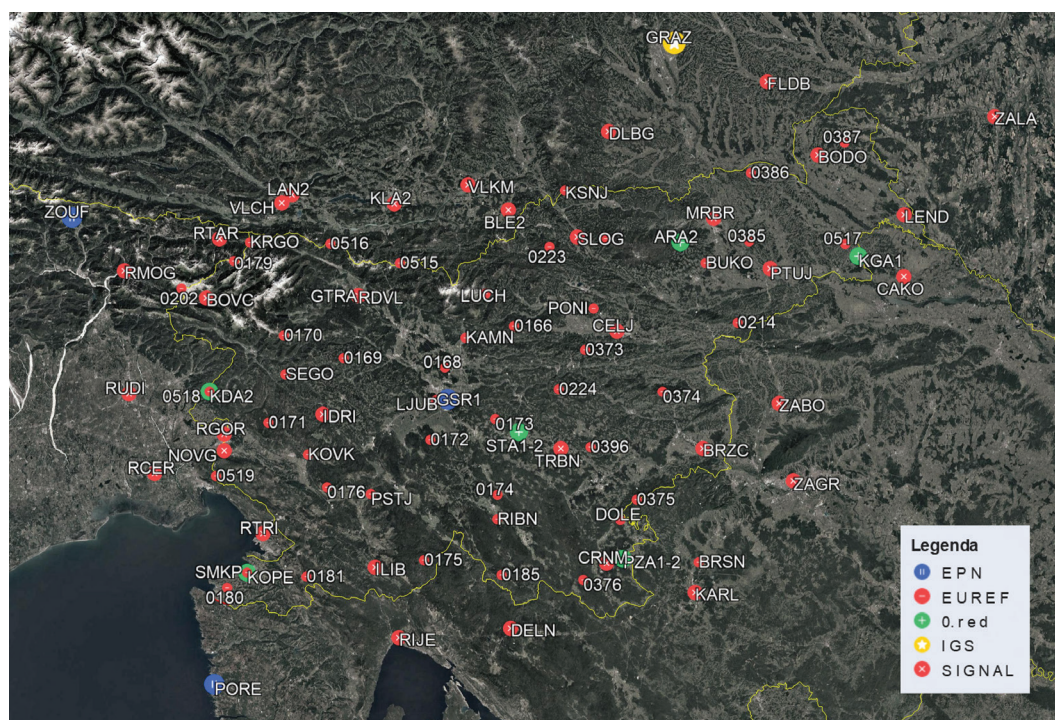
Kot je bilo pričakovati, so razlike med koordinatami točk iz obeh realizacij ETRS89 (D96 in D17) velike – tudi več kot 8 centimetrov. Po predstavitvi D17 v Amsterdamu je bil po enaki metodologiji izveden še izračun celotne mreže, v katerega je bilo vključenih 117 GNSS-točk (Berk, 2019, str. 521), in sicer za celotno EUREF-izmero 2016 (vseh 80 zaporednih dnevnih sesij). Sprejeta je bila pragmatična odločitev, da nova realizacija ne bo uveljavljena neposredno. Dobljene koordinate točk, ki določajo D17, so bile na koncu transformirane v D96. Tako smo dobili 'osveženi geodetski datum D96' z oznako D96-17.

Gre za nujno sanacijo zatečenega stanja, ki se zgleduje po podobnih pragmatičnih pristopih (z dodatno transformacijo) v nekaterih drugih evropskih državah (npr. Häkli in sod., 2016; Altiner in Perl, 2018). Cilj je bil zagotovitev večje skladnosti koordinat GNSS-točk (v uporabi) z njihovimi dejanskimi vrednostmi (v fizičnem prostoru) zaradi izboljšanja kakovosti produktov in storitev GNSS-omrežij. Ključni motiv za pragmatično rešitev je bil podaljšati rok uporabnosti koordinat v državnem referenčnem koordinatnem sistemu, torej izogniti se transformaciji prostorskih podatkovnih zbirk (iz D96 v D17), na primer podatkov zemljiškega katastra.

V omrežju SIGNAL so bile nove koordinate D96-17 uvedene s 1. januarjem 2020, hkrati pa so bile zaradi pridobitve enoličnih mednarodnih oznak (DOMES numbers) spremenjene tudi oznake nekaterih stalnih GNSS-postaj omrežja SIGNAL (Obvestilo, 2019). V prispevku sta podrobneje predstavljeni določitev koordinat točk GNSS-izmere EUREF Slovenija 2016 v D17 in način njihove transformacije v D96-17.

2 PROSTORSKI IN ČASOVNI OBSEG GNSS-IZMERE EUREF SLOVENIJA 2016

V EUREF-izmero 2016 so bile vključene vse točke iz predhodnih EUREF GPS-izmer, ki še omogočajo izvedbo kakovostnih meritev. Izmed 49 točk so tako izpadle trigonometrične točke 1. reda Grintovec (uničena), Lendavske gorice (nestabilen steber) in Žigartov vrh (nestabilen steber, kasneje odstranjen) ter geodinamična točka Pasja ravan (uničena), kar pomeni, da je bilo ponovno izmerjenih skoraj 92 % prvotnih EUREF-točk, na katerih temelji D96. V izmero je bila vključena še nova geodinamična točka (Dole) ter dve EUREF-točki na ozemlju Hrvaške (Brusnik in Pulj), tako da je bilo skupaj v EURE F-izmero 2016 vključenih 48 pasivnih GNSS-točk. Meritve je hkrati izvajalo po pet terenskih ekip z GNSS-sprejemniki Javad Triumph LS2 (Zupančič, 2016; Medved, 2016).

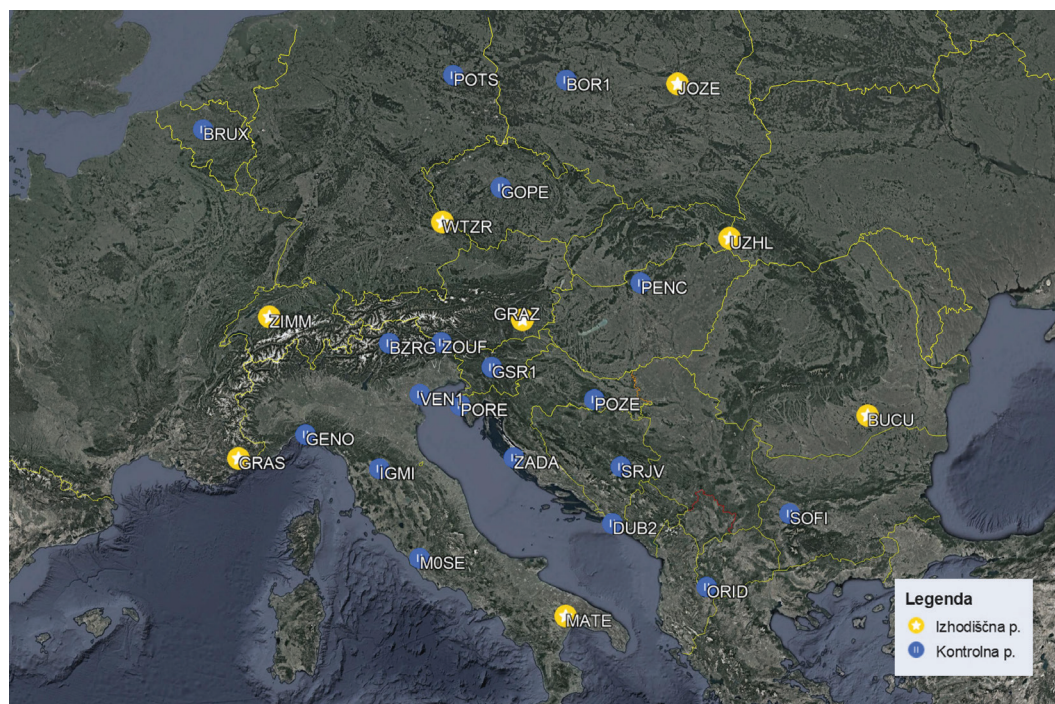


Slika 1: GNSS-točke/postaje na ozemlju države in bližnje okolice, vključene v GNSS-izmero EUREF Slovenija 2016 (podloga: Google Earth, 2018).

Poleg pasivne mreže GNSS-točk sta bili v obdelavo vključeni tudi obe državni omrežji stalnih GNSS-postaj: SIGNAL in kombinirana geodetska mreža 0. reda. V omrežje SIGNAL je bilo med EUREF-izmero 2016 vključenih vseh 16 danes delujočih stalnih GNSS-postaj na ozemlju Slovenije. Poleg tega so bila GNSS-opazovanja pridobljena še za 21 stalnih GNSS-postaj na ozemljih sosednjih držav, predvidenih

za meddržavno izmenjavo podatkov v realnem času: šest v Italiji (izmed katerih so danes v omrežje SIGNAL vključene tri), sedem v Avstriji (izmed katerih so danes v omrežje SIGNAL vključene štiri), ena na Madžarskem ter sedem na Hrvaškem (izmed katerih jih je danes v omrežje SIGNAL vključenih šest). V kombinirani geodetski mreži 0. reda pa je med izvedbo EUREF-izmere 2016 delovalo osem od deset danes delujočih stalnih GNSS-postaj (vključno s koprsko, ki je hkrati del omrežja SIGNAL); manjkali sta takrat še nedelujoči GNSS-postaji 0. reda Areh zahod (ARA1) in Korada zahod (KDA1), torej na dveh lokacijah danes dvojnih GNSS-postaj (slika 1).

Poleg navedenih pa je bilo v obdelavo vključenih še dodatnih 25 stalnih GNSS-postaj omrežij EPN (EUREF Permanent GNSS Network) in/ali IGS (International GNSS Service) v širši okolici Slovenije, in sicer v vlogi izhodiščnih GNSS-postaj za določitev geodetskega datuma GNSS-mreže (angl. reference frame stations; v nadaljevanju: izhodiščne GNSS-postaje) ter kontrolnih GNSS-postaj (slika 2).



Slika 2: Izhodiščne in kontrolne GNSS-postaje, vključene v GNSS-izmero EUREF Slovenija 2016 (podloga: Google Earth, 2018).

Skupaj je bilo tako v končno obdelavo EUREF-izmere 2016 vključenih 69 stalnih GNSS-postaj. Na vseh pasivnih GNSS-točkah je bila izvedena tridnevna (72-urna) statična GNSS-izmera. Zaradi velikega števila točk je bila izmera razdeljena na devet serij s po tremi zaporednimi dnevnimi sesijami. Med temi serijami so bile prekinitive za menjave in selitve terenskih ekip, ki so trajale od tri do največ 11 dni. Dnevne sesije so se pričele in končale ob 10:00 UTC oziroma od 30. oktobra dalje – po prehodu s poletnega nazaj na standardni čas – ob 11:00 UTC. EUREF-izmera 2016 je trajala od 22. avgusta do 10. novembra 2016; skupaj z vmesnimi serijami, ko so se meritve izvajale samo na stalnih GNSS-postajah, torej obsega 80 zaporednih dnevnih sesij. Srednja epoha izmere (tj. 2016,75) je 1. oktober 2016 ob 10:10 UTC (Berk, 2019, str. 8).

3 PODATKI GNSS-IZMERE EUREF SLOVENIJA 2016

Datoteke s surovimi GNSS-opazovanji v formatu RINEX (Receiver INdependent EXchange format, *.16O) za stalne GNSS-postaje omrežja SIGNAL in vanj (v času izmere) vključene postaje sosednjih GNSS-omrežij ter za postaje kombinirane geodetske mreže 0. reda so bile pridobljene z RINEX-portala omrežja SIGNAL (SIGNAL, 2016) oziroma iz internih arhivov Službe za GNSS. RINEX-datoteke za v SIGNAL naknadno vključene stalne GNSS-postaje italijanske Rete GNSS FVG so bile pridobljene prek spletnega portala avtonomne regije Furlanija - Julijska krajina (Rete GNSS FVG, 2016), za v SIGNAL naknadno vključeni postaji v Beljaku (VLCH) in Velikovcu (VLKM) ter za IGS-postajo v Gradcu (GRAZ) od avstrijskega Zveznega urada za meroslovje in geodezijo (BEV), za nadomestno postajo v Zagrebu (ZAGR) pa od hrvaške Državne geodetske uprave (DGU). RINEX-datoteke za IGS- in EPN-postaje so bile pridobljene s ftp-strežnika CDDIS (Crustal Dynamics Data Information System), gl. Noll (2010) in CDDIS (2016), oziroma prek spletnih strani NASE (National Aeronautics and Space Administration), gl. NASA (2016), nekatere pa tudi s ftp-strežnika EPN (Bruyninx in sod., 2012; EPN RINEX, 2016) in ftp-strežnika OLG (Observatorium Lustbühel Graz), gl. OLG (2016).

Rezultat GNSS-izmer na pasivnih GNSS-točkah je 144 dnevni RINEX-datotek (tj. 48×3). V primerjavi s temi meritvami je bilo na stalnih GNSS-postajah med EUREF-izmero 2016 kar nekaj težav; zgolj 42 postaj (tj. slabih 61 %) je popolnih, torej brez manjkajočih dnevni RINEX-datotek. Skupaj je bilo pripravljenih še 5410 dnevni RINEX-datotek za stalne GNSS-postaje – s ponovnim razrezom opazovanj, ki je bil časovno prilagojen dnevnim sesijam meritev na pasivnih GNSS-točkah. Tako je bilo v končno obdelavo celotne mreže vključenih 5554 dnevni RINEX-datotek (Berk, 2019, str. 521).

Interval registracije GNSS-signalov v vseh pridobljenih RINEX-datotekah je bil 30 sekund. Najmanjši višinski kot registracije GNSS-signalov (angl. elevation cut-off) na pasivnih GNSS-točkah je bil 10° , za večino stalnih GNSS-postaj pa 0° . Za IGS-postajo v Rimu (MOSE) je bil najmanjši višinski kot registracije 3° , za GNSS-postaje v Rete GNSS FVG, kombinirani geodetski mreži 0. reda in omrežju SIGNAL pa 5° , vendar je bil ta za slednje (tj. GNSS-postaje omrežja SIGNAL) še pred pričetkom pete serije EUREF-izmere 2016, tj. 23. septembra 2016 ob 14:00 UTC, zmanjšan na 0° (Berk, 2019, str. 29).

Za večino stalnih GNSS-postaj so bila na voljo opazovanja za GPS- in GLONASS-satelite; opazovanja za ostale sisteme globalne satelitske navigacije pa – skladno s smernicami, veljavnimi med obdelavo EUREF-izmere 2016 (Bruyninx in sod., 2013) – niso bila vključena v obdelavo. Zgolj GPS-opazovanja so bila na voljo za IGS-postaje v Genovi (GENO), Józefosławu (JOZE) in Zimmerwaldu (ZIMM) ter za GNSS-postaji 0. reda Prilozje vzhod (PZA2) in Šentvid pri Stični zahod (STA1). Čeprav so bila na voljo tudi GLONASS-opazovanja za postaji Bruselj (BRUX) in Ohrid (ORID), niso bila uporabljena – v prvem primeru zaradi priporočenega načina tvorbe GNSS-vektorja (BRUX–ZIMM), v drugem pa, ker je bila individualna absolutna kalibracija za ohridsko postajo na voljo samo za GPS-opazovanja (Berk in sod., 2018, str. 3).

Za stalne GNSS-postaje kombinirane geodetske mreže 0. reda in postajo omrežja SIGNAL na Ptuj (PTUJ) ter za osem EPN-postaj, in sicer v Bocnu (BZRG), Bruslju (BRUX), Bukarešti (BUCU), Ohridu (ORID), Pencu (PENC), Rimu (MOSE), Sofiji (SOFI) in Wetzllu (WTZR), so bile uporabljene individualne absolutne kalibracije GNSS-anten. Njihovo neupoštevanje bi lahko prineslo koordinatne razlike

tudi do 10 milimetrov (Araszkiewicz in Völksen, 2017). Individualne absolutne kalibracije za slovenske GNSS-antene so bile izvedene v podjetju GEO++, in sicer s pomočjo robota (Wübbena in sod., 2006). Pripadajoče datoteke ANTEX (ANTenna EXchange format, *.ATX) so bile pridobljene iz internega arhiva Službe za GNSS. Za EPN-postaje so bile ANTEX-datoteke pridobljene prek spletnih strani EPN (EPN, 2016–2018) – uporabljena je bila datoteka EPNC_08.ATX, ki sicer temelji na datoteki IGS08. ATX s kalibracijami GNSS-anten za IGS-postaje, vendar slednja ne vsebuje individualnih absolutnih kalibracij GNSS-anten (Schmid in sod., 2016).

Za stalne GNSS-postaje so bili podatki o uporabljenih GNSS-sprejemnikih in antenah ter njihovi namestitvi pridobljeni iz ustreznih log-datotek. Za stalne postaje kombinirane geodetske mreže 0. reda ter omrežja SIGNAL in vanj (med izmero) vključene postaje sosednjih GNSS-omrežij so bile pridobljene prek spletnih strani omrežja SIGNAL (SIGNAL, 2016) oziroma iz internega arhiva Službe za GNSS. Kot vir podatkov o EPN-postajah je bila uporabljena datoteka EUREF52.STA ter ustrezne log-datoteke, ki so bile pridobljene prek spletnih strani EPN (EPN, 2016–2018) ter s spletnega portala IGS (IGS, 2016).

Za izračun EUREF-izmere 2016 so bile – skladno s smernicami EUREF (Bruyninx in sod., 2013) – uporabljene končne IGS-tirnice/ure (angl. final IGS orbits/clocks) satelitov GPS in GLONASS s pripadajočimi parametri vrtenja Zemlje (angl. Earth rotation parameters – ERP), ki so bili pridobljeni s ftp-strežnika IGS (Kouba, 2009; IGS Orbits, 2017). Vplivi plimovanja oceanov (angl. ocean tide loading displacements) so bili modelirani z uporabo spletne storitve vesoljskega observatorija Onsala (Bos in Scherneck, 2018). Tirnice planetov in Lune (angl. planetary and lunar ephemerides) DE405 so bile pridobljene z Nasinega ftp-strežnika (Standish, 1998; JPL Ephemerides, 2017). Globalni model ionosfere je bil pripravljen s podatki, pridobljenimi s ftp-strežnika Astronomskega inštituta Univerze v Bernu (ION Model, 2018). Model troposfere VMF1 (Vienna Mapping Function), ki temelji na podatkih Evropskega centra za srednjeročne vremenske napovedi (European Centre for Medium-Range Weather Forecasts – ECMWF), je bil pridobljen s ftp-strežnika Tehniške univerze na Dunaju (Boehm in sod., 2006; VMF1 Model, 2018).

Pri določitvi geodetskega datuma so bili za izhodiščne GNSS-postaje uporabljeni produkti EPN v obliki kumulativnih izračunov koordinat in vektorjev hitrosti (Bruyninx in sod., 2012), in sicer zadnji izračun v IGB08 z oznako EPN_A_IGb08_C1934 (IGb08, 2017). Vsi ostali vhodni podatki za izračun EUREF-izmere 2016 pa so bili vzeti s ftp-strežnika Astronomskega inštituta Univerze v Bernu (BSWUSER52, 2017).

4 OBDELAVA PODATKOV GNSS-IZMERE EUREF SLOVENIJA 2016

Za obdelavo EUREF-izmere 2016 je bil uporabljen programski paket 'Bernese GNSS Software', različica 5.2, objavljena 28. februarja 2018, in pripadajoča programska dokumentacija (Dach in sod., 2015; Dach in Fridez, 2017). Upoštewane so bile smernice za določitev koordinat v ETRS89 (t. i. zgostitev EUREF), različica 5, objavljena 28. maja 2013 (Bruyninx in sod., 2013). Izračun koordinat točk GNSS-mreže je bil izveden v ITRF2008/IGb08 (Altamimi in sod., 2011; Rebischung in sod., 2012), torej v ITRF-u, ki je bil v uporabi med izvedbo EUREF-izmere 2016. Za neodvisno kontrolo transformacije končnih koordinat iz IGB08 v ETRF2000 je bil uporabljen EPN Transformation Service (ETRF/ITRF, 2017), ki sledi tehničnim napotkom EUREF glede transformacij med mednarodnimi in evropskimi terestričnimi referenčnimi sistemi (Altamimi, 2018).

4.1 Izbor izhodiščnih in kontrolnih GNSS-postaj

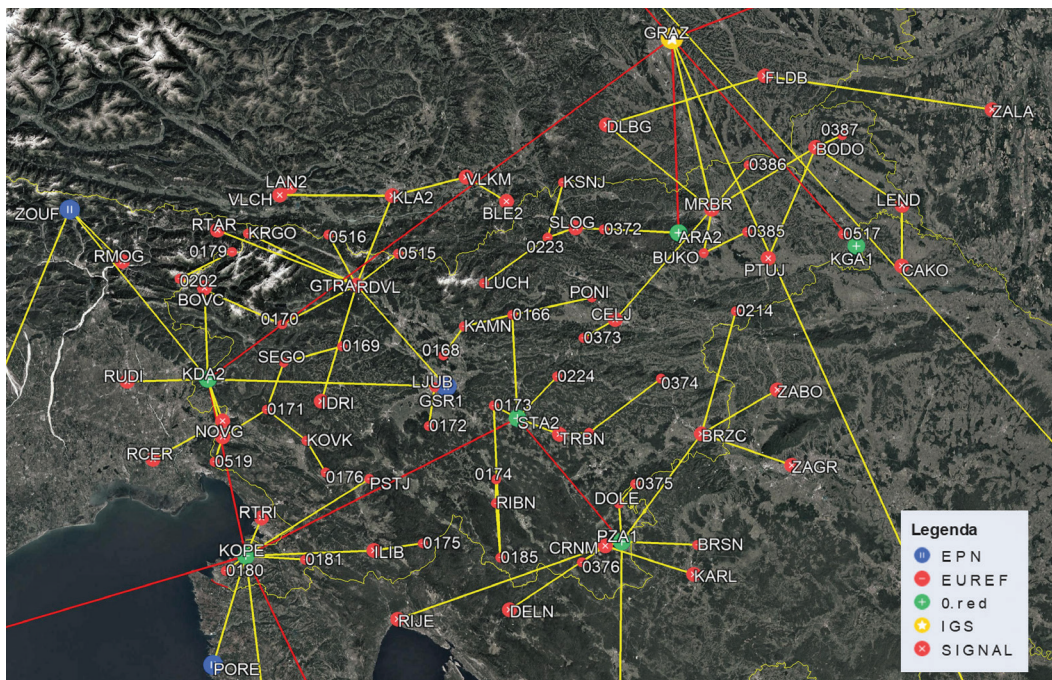
Merila za izbor izhodiščnih GNSS-postaj za določitev geodetskega datuma so temeljila na smernicah EUREF (Bruyninx in sod., 2013). Zahtevano je bilo, da gre za IGS-postaje:

- z najvišjim statusom (angl. core stations) in vključene v mrežo IGS08 (Rebischung in sod., 2012),
- vključene v kumulativni izračun koordinat in vektorjev hitrosti z oznako EPN_A_IGb08_C1934 (IGb08, 2017),
- z neprekinjenimi in verificiranimi časovnimi vrstami (Altamimi, 2003) in po možnosti brez menjav GNSS-opreme v času EUREF-izmere 2016,
- brez manjkajočih dnevnih RINEX-datoteke za celoten čas izvedbe EUREF-izmere 2016 – na voljo je moralo biti vseh 80 RINEX-datoteke z vsaj po 1200 epohami (tj. za vsaj 10 ur meritev),
- enakomerno razporejene okoli območja zgoščitve EUREF (angl. EUREF densification area) in
- po možnosti že uporabljene v vlogi izhodiščnih GNSS-postaj tudi v predhodnih EUREF GPS-izmerah na območju Slovenije (tj. tistih v letih 1994–1996 in 2007, glej podpoglavje 4.3).

Izmed vseh razpoložljivih IGS-postaj je bilo tako izbranih osem najbližjih, ki kar najbolj izpolnjujejo zgornje zahteve. To so IGS-postaje v Bukarešti (BUCU), Gradcu (GRAZ), Grasseju (GRAS), Materi (MATE), Józefosławu (JOZE), Užgorodu (UZHL), Wetzllu (WTZR) in Zimmerwaldu (ZIMM). Ostalih 19 uporabljenih EPN-/IGS-postaj (slika 2), vključenih v kumulativni izračun koordinat in vektorjev hitrosti z oznako EPN_A_IGb08_C1934, je imelo pri izračunu EUREF-izmere 2016 status kontrolnih točk – med njimi tudi EPN-postaja v Ljubljani (GSR1).

4.2 Konfiguracija GNSS-mreže

Osnovno načelo pri tvorbi GNSS-vektorjev oziroma tako imenovanih enojnih razlik (angl. single differences) – že pri izračunu osnovne GNSS-mreže za verifikacijo izračuna EUREF-izmere 2016 s strani EUREF Governing Board (EUREF GB) – je bilo zagotoviti čim več opazovanj (strategija MAX-OBS). Vendar pa so bile za pasivne GNSS-točke na voljo zgolj po tri RINEX-datoteke, pa tudi za precej stalnih GNSS-postaj RINEX-datoteke niso bile na voljo za vseh 80 dnevnih sesij. Da bi se konfiguracija GNSS-mreže vseeno nekoliko manj spreminjala med posameznimi serijami pa tudi med dnevnimi sesijami opazovanj, je bila tvorba GNSS-vektorjev izvedena po fazah. Najprej je bilo sestavljeno osnovno ogrodje, ki povezuje osem izhodiščnih GNSS-postaj za določitev datuma GNSS-mreže in šest postaj kombinirane geodetske mreže 0. reda. Pri slednjih je bila tudi na lokacijah dvojnih postaj izbrana samo po ena GNSS-postaja, in sicer Areh vzhod (ARA2), Kog (KGA1), Koper (KOPE), Korada vzhod (KDA2), Prilozje zahod (PZA1) ter Šentvid pri Stični vzhod (STA2). Za stalne GNSS-postaje, ki sestavljajo osnovno ogrodje GNSS-mreže, je bilo na voljo vseh 80 dnevnih RINEX-datoteke, izbrana pa je bila konfiguracija, pri kateri je število opazovanj največje – upošteva je hkrati vseh 80 dnevnih sesij. Nadaljnji izbor GNSS-vektorjev je bil izveden po serijah opazovanj. Za vsako je bila vzeta tista nezapirajoča se kombinacija dodatnih vektorjev (tj. kombinacija, ki ne sestavlja zaključenega lika), za katero je na najneugodnejšo izmed treh dnevnih sesij (z najmanjšim številom opazovanj) število teh opazovanj največje. Pri tem je bila celotna GNSS-mreža zgolj nadgradnja osnovne, torej nadgradnja konfiguracije GNSS-mreže, uporabljene pri izračunu EUREF-izmere 2016 za verifikacijo s strani EUREF GB (Berk in sod., 2018; Berk, 2019, str. 488–496), glej sliko 3.



Slika 3: Tvorba GNSS-vektorjev za GNSS-izmero EUREF Slovenija 2016; osnovno ogrodje – rdeči vektorji – in razširitev mreže – rumeni vektorji (podloga: Google Earth, 2018).

Skupaj je bilo v obdelavo vključenih 118 različnih vnaprej določenih GNSS-vektorjev (angl. predefined baselines). Najdaljši vektor meri 595,6 km (Koper–Matera), najkrajši pa manj kot 1 m (na dvojnih GNSS-postajah 0. reda). Povprečna dolžina vektorjev je 93,4 km, središčna dolžina (mediana) pa 29,8 km. Krajših od 20 km (kratki vektorji) je 48 vektorjev oziroma 40,7 % (Berk, 2019, str. 503).

Za 42 stalnih GNSS-postaj (35,9 % vseh točk mreže) so bila na voljo opazovanja za vseh 80 dnevnih sesij (tj. brez manjkajočih RINEX-datotek) in 41 GNSS-vektorjev (35,3 % vseh vektorjev) je bilo tvorjenih za vseh 80 dnevnih sesij. V GNSS-mrežo je vključenih najmanj 65 in največ 72 ter v povprečju 68,4 dnevnih GNSS-vektorjev (Berk, 2019, str. 521).

4.3 Določitev a priori koordinat in vektorjev hitrosti točk

Približne koordinate točk GNSS-mreže so bile najprej določene za srednjo epoko GNSS-izmere, torej za trenutek 2016,75. Koordinate izhodiščnih in kontrolnih GNSS-postaj so bile vzete iz kumulativnega izračuna v IGB08 z oznako EPN_A_IGb08_C1934 (IGb08, 2017), tj. iz opazovanj za GPS-tedne 834–1934 (od 6. 1. 1996 do 4. 2. 2017). Koordinate so podane za referenčno epoko 2005,0. Transformacija koordinat v izbrano epoko je bila izvedena po enačbi (Altamimi, 2018, str. 5):

$$\begin{bmatrix} X \\ Y \\ Z \end{bmatrix}_{IGb08}(t) = \begin{bmatrix} X \\ Y \\ Z \end{bmatrix}_{IGb08}(t_0) + \begin{bmatrix} V_x \\ V_y \\ V_z \end{bmatrix}_{IGb08} \cdot (t - t_0), \quad (1)$$

kjer so:

- t ... izbrana ciljna epoha (srednja epoha GNSS-izmere ali posameznih dnevnih sesij),
- t_0 ... referenčna epoha (izhodiščna epoha IGB08 ali srednja epoha GNSS-izmere),
- X, Y, Z ... kartezične koordinate točke in
- V_x, V_y, V_z ... ustrezne komponente vektorja hitrosti.

Nato je bil seznam dopolnjen še s približnimi koordinatami ostalih točk mreže. Te koordinate so temeljile na koordinatah, določenih v ETRS89/D96, in sicer v okviru EUREF GPS-izmer v letih 1994–1996 (Berk in sod., 2003 in 2004) za EUREF-točke, v okviru Mini EUREF GPS-izmere v letu 2007 (Messer in sod., 2007; Sterle in Stopar, 2007; Obvestilo, 2007) za stalne GNSS-postaje omrežja SIGNAL oziroma v okviru naknadnih zgostitev (Obvestilo, 2011) za stalne GNSS-postaje sosednjih omrežij ter v okviru prvih GNSS-izmer geodetske mreže 0. reda (Stopar in sod., 2016, zv. 1, str. 131–143). Približna transformacija v IGB08, epoha 2016,75, je bila izvedena s podobnostno (7-parametrično) transformacijo – enačba (3) –, pri čemer so bili njeni parametri (Berk, 2019, str. 462) določeni na podlagi osmih identičnih točk (Cerk, Donačka gora, Golica, Kamenek, Korada, Kucelj, Malija in Velika Kopa), ki so bile vključene že v izračun osnovne GNSS-mreže za verifikacijo izračuna EUREF-izmere 2016 s strani EUREF GB (Berk in sod., 2018, str. 21).

Koordinate vseh točk GNSS-mreže so bile nato z enačbo (1) transformirane še v koordinate, veljavne za srednje epohe posameznih (80) dnevnih sesij. Razen za izhodiščne in kontrolne GNSS-postaje z znanimi vektorji hitrosti so bili slednji za ostale točke GNSS-mreže privzeti z izhodiščnih oziroma kontrolnih GNSS-postaj. Vzeta je bila najbližja EPN- oziroma IGS-postaja, ki je od dane GNSS-točke ne loči pomembnejša tektonska prelomnica. Med slednje so bili uvrščeni Idrijski prelom in Periadriatski prelom z nadaljevanjem proti vzhodu v Labotski prelom (Placer, 2008). Tak izbor temelji tudi na preteklih raziskavah tektonike s tehnologijo GNSS (npr. Vrabec in sod., 2006; Weber in sod., 2010; Sterle, 2015). Tako so bili uporabljeni vektorji hitrosti s stalnih GNSS-postaj Gradec (GRAZ) za severovzhodno Slovenijo, Ljubljana (GSR1) za osrednjo Slovenijo, Poreč (PORE) za jugozahodno Slovenijo ter Zouf Plan (ZOUF) za severozahodno Slovenijo (Berk, 2019, str. 471–473).

Že pri izračunu osnovne GNSS-mreže za verifikacijo izračuna EUREF-izmere 2016 s strani EUREF GB (Berk in sod., 2018, str. 11–13) je bila izvedena tudi analiza vplivov uporabe različnih a priori vektorjev hitrosti. Uporaba zgoraj opisanih privzetih vektorjev hitrosti in tistih, ki so določeni z linearno interpolacijo med zgoraj navedenimi EPN-/IGS-postajami (po Delaunayjevih trikotnikih), dá tako rekoč iste rezultate izračuna; vpliv dobljenih razlik pri ocenah vektorjev hitrosti na končne koordinate točk znaša do 0,01 mm in je torej za časovni obseg EUREF-izmere 2016 (80 dni) povsem zanemarljiv. Tudi če uporabimo kar globalna modela NUVEL-1 (Argus in Gordon, 1991) ali NUVEL-1A (DeMets in sod., 1994), so razlike med končnimi koordinatami točk manjše od 0,2 mm (Berk in sod., 2018, str. 18).

4.4 Določitev končnih koordinat točk v IGB08

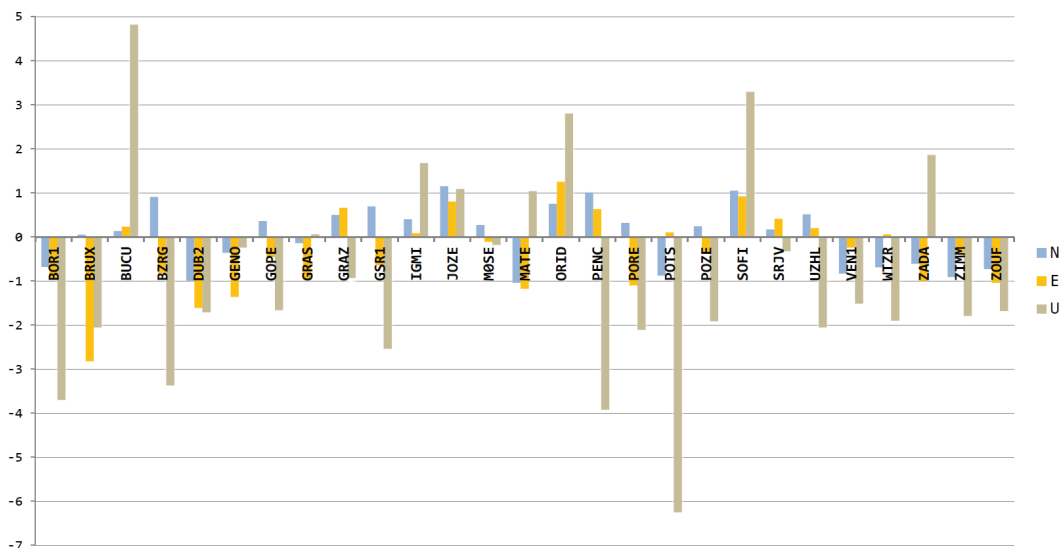
Vse tehnične podrobnosti posameznih faz izračuna EUREF-izmere 2016 so opisane v poročilu o izračunu osnovne GNSS-mreže, pripravljenem za potrebe verifikacije s strani EUREF GB (Berk in sod., 2018); za izračun celotne GNSS-mreže je bil uporabljen povsem enak postopek. Končni rezultat izračuna so datoteke koordinat GNSS-točk (station CoorDinates, *.CRD) in datoteke v formatu SINEX (Solution

INdependent EXchange format, *.SNX), ki vključujejo podatke o uporabljeni programski in strojni opremi za obdelavo GNSS-mreže, informacije o uporabljenih GNSS-sprejemnikih in antenah, morebitnih individualnih absolutnih kalibracijah, elementih ekscentričnosti, parametrih izračuna ter opazovanjih in njihovi kakovosti v obliki variančno-kovariančne matrike. Rezultat izračuna posameznih dnevnih sesij je:

- 80 datotek s koordinatami vseh GNSS-točk v srednjih epohah za vsako posamezno dnevno sesijo – datoteke FINdđđđ0.CRD – in
- 80 datotek v formatu SINEX – datoteke FINdđđđ0.SNX,

kjer je dđđđ zaporedna številka dneva v letu (dan pričetka meritev).

Končni rezultat izračuna GNSS-mreže v IGb08 je datoteka s koordinatami vseh GNSS-točk v srednji epohi EUREF-izmere 2016 (tj. 2016,75) – datoteka SVN16_IGb08.CRD – in pripadajoča datoteka v formatu SINEX – datoteka SVN19167.SNX, ki sta na voljo na portalu Prostor (EUREF2016, 2020). Gre za rezultat izravnave opazovanj iz vseh 80 dnevnih sesij, pri kateri je bilo uporabljenih 199.177.984 opazovanj in določenih 616.922 neznank (Berk, 2019, str. 594). Datum GNSS-mreže je bil določen na podlagi izbranih osmih izhodiščnih GNSS-postaj (slika 2) in treh vezi med koordinatnimi neznankami (angl. minimum constraint solution); praktično je bil določen z optimalno translatorsno (3-parametrično) transformacijo (pomiki oziroma translacije po X -, Y - in Z -osi). Kot neznanke v mreži so bile določene samo koordinate GNSS-točk, ne pa tudi njihovi vektorji hitrosti; komponente slednjih so bile obravnavane kot dane količine. Uporabljene so bile tudi relativne vezi med koordinatnimi neznankami (angl. relative constraint positions), in sicer za nivelirani višinski razliki na dvojnih GNSS-postajah 0. reda v Prilozju in Šentvidu pri Stični (Berk, 2019, str. 622).



Slika 4: Odstopanja koordinat [mm] v IGb08, epoha 2016,75, na izhodiščnih in kontrolnih GNSS-postajah EUREF-izmere 2016.

Odstopanja tako dobljenih končnih koordinat na osmih izhodiščnih GNSS-postajah EUREF-izmere 2016 v IGb08 od njihovih koordinat iz kumulativnega izračuna z oznako EPN_A_IGb08_C1934 (IGb08, 2017), pretvorjenih v epoho 2016,75, v lokalnem geodetskem koordinatnem sistemu (N , E , U) za vsako posamezno točko (tj. $IGb08_{EPN}$ minus $IGb08_{SVN16}$), so po višini (U) od -2,1 mm v Užgorodu (UZHL)

do 4,8 mm v Bukarešti (BUCU) in za horizontalni koordinati (N , E) od -1,2 mm v Materi (MATE) do 1,2 mm v Józefosławu (JOZE). Odstopanja končnih koordinat na 19 kontrolnih GNSS-postajah so po višini od -6,3 mm v Potsdamu (POTS) do 3,3 mm v Sofiji (SOFI) in za horizontalni koordinati od -2,8 mm v Bruslju (BRUX) do 1,3 mm v Ohridu (ORID); na EPN-postaji v Ljubljani (GSR1) so odstopanja po višini -2,5 mm in za horizontalni koordinati do 0,7 mm, glej sliko 4.

Kot mera kakovosti ujemanja koordinat iz neposredne primerjave oziroma po izvedeni optimalni transformaciji izbranega niza (veznih) točk je bil uporabljen korenjen srednji kvadratni pogrešek (angl. Root Mean Square error; v nadaljevanju: RMS) koordinat, in sicer po enačbi:

$$RMS = \sqrt{\frac{1}{3 \cdot n - p} \sum_{i=1}^n (N_i^2 + E_i^2 + U_i^2)}, \quad (2)$$

kjer sta n število uporabljenih (veznih) točk, p pa število parametrov transformacije (0 za neposredno primerjavo koordinat, 3 za translatorsno, 6 za togo in 7 za podobnostno transformacijo).

RMS koordinat po optimalni translatorsni (3-parametrični) transformaciji koordinat izhodiščnih GNSS-postaj (učinek uporabe vezi med neznankami pri izravnavi mreže) znaša 1,5 mm, RMS koordinat iz neposredne primerjave koordinat kontrolnih GNSS-postaj pa 1,7 mm (Berk, 2019, str. 712).

4.5 Transformacija koordinat točk v ETRF2000 (ETRS89/D17)

Koordinate v novi realizaciji ETRS89 v Sloveniji z oznako ETRS89/D17 so bile skladno s smernicami EUREF (Bruyninx in sod., 2013) določene s transformacijama:

- iz IGB08/ITRF2008 v ITRF2000 in nato še
- iz ITRF2000 v ETRF2000.

Transformacijo koordinat točk med dvema terestričnima referenčnima sestavoma (TRF_A in TRF_B) v izbrani epohi izvedemo po poenostavljeni enačbi za podobnostno (7-parametrično) transformacijo (Altamimi, 2018, str. 1):

$$\begin{bmatrix} X \\ Y \\ Z \end{bmatrix}_{TRF_B} = \begin{bmatrix} X \\ Y \\ Z \end{bmatrix}_{TRF_A} + \begin{bmatrix} T_X \\ T_Y \\ T_Z \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} D & -R_Z & R_Y \\ R_Z & D & -R_X \\ -R_Y & R_X & D \end{bmatrix} \times \begin{bmatrix} X \\ Y \\ Z \end{bmatrix}_{TRF_A}, \quad (3)$$

kjer so:

- $\begin{bmatrix} \cdot \\ \cdot \\ \cdot \end{bmatrix}_{TRF_A}$... vektor koordinat točk v izvornem terestričnem referenčnem sestavu (npr. ITRF2008),
- $\begin{bmatrix} \cdot \\ \cdot \\ \cdot \end{bmatrix}_{TRF_B}$... vektor koordinat točk v ciljnem terestričnem referenčnem sestavu (npr. ITRF2000),
- D ... razlika enot merila,
- T_X, T_Y, T_Z ... pomiki po koordinatnih oseh in
- R_X, R_Y, R_Z ... zasuki okoli koordinatnih osi skladno z IERS-konvencijami (Petit in Luzum, 2010, str. 31).

Gre za poenostavljeno različico Helmertove transformacije, kar je sprejemljivo zaradi zelo majhnih zasukov.

Opombe k enačbam (3), (5) in (6) ter k preglednicam 1–9: enačbe so zapisane v splošni obliki (z vsemi parametri), zato so tudi v pripadajočih preglednicah s transformacijskimi parametri povsod navedeni vsi parametri

(tudi ničelni); izbor ničelnega parametra pa dejansko pomeni ustrezno zmanjšanje števila parametrov transformacije, zato govorimo o 6-parametrični togi transformaciji, 3-parametrični translatorski transformaciji ipd.

Parametri transformacije iz ITRF2008 v ITRF2000 ($T_x, T_y, T_z, D, R_x, R_y, R_z$), ki veljajo za referenčno epoho 2000,0, so podani skupaj z njihovimi odvodi po času ($\dot{T}_x, \dot{T}_y, \dot{T}_z, \dot{D}, \dot{R}_x, \dot{R}_y, \dot{R}_z$), torej gre v splošnem lahko za 14-parametrično transformacijo; glej preglednico 1.

Preglednica 1: Parametri transformacije iz ITRF2008 v ITRF2000 (ITRF2008 Transformations, 2018).

T_x [mm]	T_y [mm]	T_z [mm]	D [ppb]	R_x [mas]	R_y [mas]	R_z [mas]	Epoha
$\dot{T}_x$ [mm/y]	$\dot{T}_y$ [mm/y]	$\dot{T}_z$ [mm/y]	$\dot{D}$ [ppb/y]	$\dot{R}_x$ [mas/y]	$\dot{R}_y$ [mas/y]	$\dot{R}_z$ [mas/y]	
-1,9	-1,7	-10,5	1,34	0,00	0,00	0,00	2000,0
0,1	0,1	-1,8	0,08	0,00	0,00	0,00	

Opombi k enotam v preglednicah 1–9: ppb (angl. parts-per-billion) je 10^{-9} , mas (angl. miliarsecond) pa je 10^{-3} ločne sekunde.

Dejanski parametri transformacije za izbrano epoho so bili določeni po enačbi (Altamimi, 2018, str. 5):

$$P(t) = P(t_0) + \dot{P} \cdot (t - t_0), \quad (4)$$

kjer so:

- t ... izbrana epoha – srednja epoha GNSS-izmere (2016,75),
- t_0 ... referenčna epoha – izhodiščna epoha transformacije (2000,0),
- $P(t)$... parameter transformacije ($T_x, T_y, T_z, D, R_x, R_y$ ali R_z) v izbrani epohi,
- $P(t_0)$... parameter transformacije ($T_x, T_y, T_z, D, R_x, R_y$ ali R_z) v referenčni epohi in
- $\dot{P}$... ustrezen odvod (sprememba) parametra transformacije (za $T_x, T_y, T_z, D, R_x, R_y$ ali R_z) po času.

Dobljeni parametri transformacije za srednjo epoho EUREF-izmere 2016 (tj. 2016,75) so v preglednici 2.

Preglednica 2: Uporabljeni parametri transformacije iz ITRF2008 v ITRF2000 (Berk in sod., 2018, str. 16).

T_x [mm]	T_y [mm]	T_z [mm]	D [ppb]	R_x [mas]	R_y [mas]	R_z [mas]	Epoha
-0,225	-0,025	-40,65	2,68	0,00	0,00	0,00	2016,75

Transformacijo koordinat točk med ITRF2000 in ETRF2000 v izbrani epohi izvedemo po enačbi (Altamimi, 2018, str. 2):

$$\begin{bmatrix} X \\ Y \\ Z \end{bmatrix}_{ETRF2000}(t) = \begin{bmatrix} X \\ Y \\ Z \end{bmatrix}_{ITRF2000}(t) + \begin{bmatrix} T_1 \\ T_2 \\ T_3 \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} \dot{D} & -\dot{R}_3 & \dot{R}_2 \\ \dot{R}_3 & \dot{D} & -\dot{R}_1 \\ -\dot{R}_2 & \dot{R}_1 & \dot{D} \end{bmatrix} \times \begin{bmatrix} X \\ Y \\ Z \end{bmatrix}_{ITRF2000}(t) \cdot (t - t_0), \quad (5)$$

kjer so:

- t ... izbrana epoha – srednja epoha GNSS-izmere (2016,75),
- t_0 ... referenčna epoha – izhodiščna epoha ETRS89 (1989,0),
- $\dot{D}$... odvod (sprememba) enote merila po času,
- T_1, T_2, T_3 ... zamiki med izhodišči realizacij ITRF in
- $\dot{R}_1, \dot{R}_2, \dot{R}_3$... komponente Eulerjevega vektorja za Evrazijo.

Parametri transformacije iz ITRF2000 v ETRF2000 so v preglednici 3.

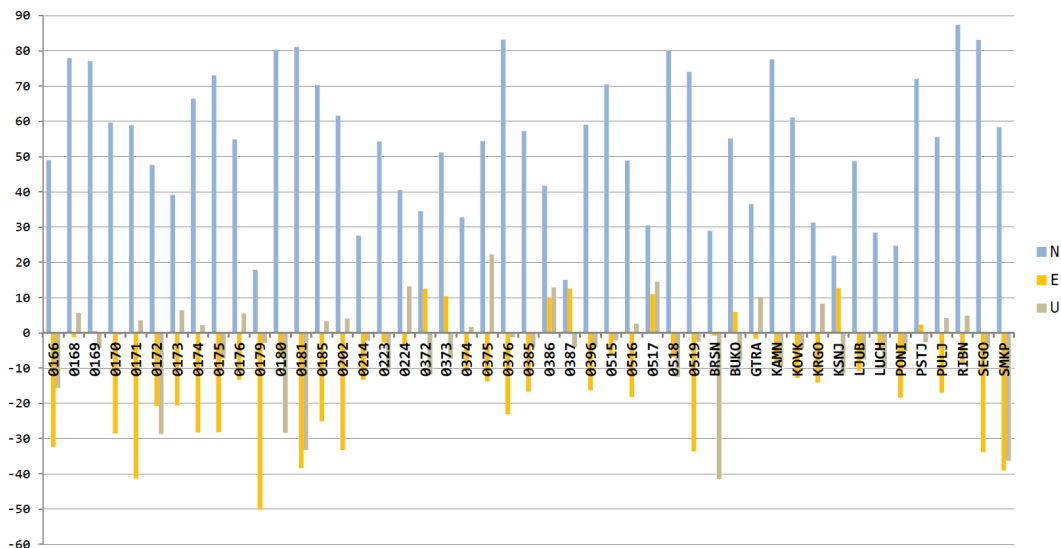
Preglednica 3: Uporabljeni parametri transformacije iz ITRF2000 v ETRF2000 (Altamimi, 2018, str. 8).

T_1 [mm]	T_2 [mm]	T_3 [mm]	D [ppb]	R_1 [mas]	R_2 [mas]	R_3 [mas]	Epoha
$\dot{T}_1$ [mm/y]	$\dot{T}_2$ [mm/y]	$\dot{T}_3$ [mm/y]	$\dot{D}$ [ppb/y]	$\dot{R}_1$ [mas/y]	$\dot{R}_2$ [mas/y]	$\dot{R}_3$ [mas/y]	
54,0	51,0	-48,0	0,00	0,000	0,000	0,000	1989,0
0,0	0,0	0,0	0,00	0,081	0,490	-0,792	

Dobljene koordinate GNSS-točk v ETRF2000 – datoteka SVN16_D17.CRD – so prav tako na voljo na portalu Prostor (EUREF2016, 2020). Določajo novo realizacijo ETRS89 v Sloveniji z oznako ETRS89/D17 – geodetski datum 2017.

5 ANALIZA REZULTATOV GNSS-IZMERE EUREF SLOVENIJA 2016

Pri vseh analizah ujemanja koordinat v nadaljevanju je za njihova odstopanja uporabljen termin ‘popravki koordinat’, in sicer v smislu potrebnih sprememb koordinat iz obstoječe realizacije ETRS89 v Sloveniji (D96) v vsakokratni referenčni niz koordinat (ob različnih preizkušanih scenarijih), ki izhaja iz nove realizacije ETRS89 (D17). Gre za popravke koordinat (angl. coordinate residuals), dobljene na podlagi izravnave koordinat pri določitvi optimalne transformacije med obema nizoma: 6-parametrične (toge) oziroma 0-parametrične pri neposredni primerjavi koordinat. Parametri optimalne transformacije so določeni z izravnavo po metodi najmanjših kvadratov, torej ob pogoju $\sum(N^2 + E^2 + U^2) = \min$. Vsi navedeni popravki N - in E -koordinat so precej blizu popravkom northing (n) in easting (e) koordinat v TM-projekciji (razlike so predvsem v zvezi z meridiansko konvergenco in elipsoidno višino), popravki U -koordinat pa so tako rekoč enaki popravkom elipsoidnih višin (b).

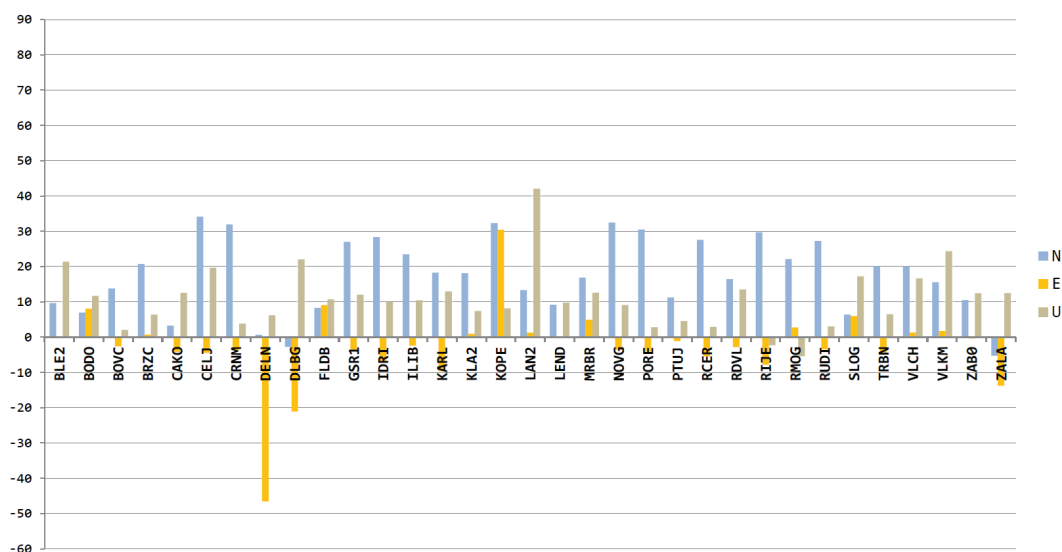


Slika 5: Popravki koordinat [mm] iz D96 v D17 na EUREF-točkah, vključenih v obe realizaciji ETRS89 v Sloveniji.

Najprej je bila izvedena neposredna primerjava koordinat GNSS-točk iz kombiniranega izračuna EUREF GPS-izmer v letih 1994–1996 (Berk in sod., 2004, dodatek 4) ter iz izračuna EUREF-izmere 2016. V obe realizaciji ETRS89 je skupaj vključenih 47 EUREF-točk, od tega dve točki na ozemlju Hrvaške (Brusnik in Pulj). Popravki pri prehodu iz D96 v D17 (tj. D17 minus D96) so po višini (U) od -41,4

mm na Brusniku (BRSN) do 22,2 mm na Gorjancih (0375) in za horizontalni koordinati (N , E) od $-50,2$ mm na Mangartu (0179) do 87,4 mm v Ribnici (RIBN); med slovenskimi točkami je največji zabeležen popravek po višini $-36,3$ mm v Kopru, na pomolu (SMKP), glej sliko 5. RMS koordinat EUREF-točk iz neposredne primerjave – enačba (2) – znaša 36,1 mm (Berk, 2019, str. 729–730).

Nato je bila izvedena še neposredna primerjava koordinat stalnih GNSS-postaj omrežja SIGNAL in vanj vključenih postaj sosednjih omrežij, in sicer iz Mini EUREF GPS-izmere v letu 2007 (Obvestilo, 2007) oziroma naknadnih zgostitev omrežja (Obvestilo, 2011), ter iz izračuna EUREF-izmere 2016. Iz nadaljnjih analiz so bile tu izločene nekatere stalne GNSS-postaje sosednjih omrežij, in sicer v Gorici (RGOR), Trbižu (RTAR), Trstu (RTRI) in Zagrebu (ZAGR), saj so predvidene zgolj kot nadomestne postaje (pri daljšem izpadu bližnjih postaj) in torej doslej niso vplivale na določanje položajev točk v Sloveniji. Tako je bilo v primerjavo vključenih 33 stalnih GNSS-postaj, od tega 17 postaj sosednjih omrežij. Popravki koordinat pri prehodu iz D96 v D17 (tj. D17 minus D96) so po višini (U) od $-5,4$ mm v Možnici (RMOG) do 42,1 mm v Vajški (LAN2) in za horizontalni koordinati (N , E) od $-46,6$ mm v Delnicah (DELN) do 34,1 mm v Celju (CELJ); med slovenskimi postajami pa znašajo največji popravki po višini od 2,1 mm v Bovcu (BOVC) do 19,7 mm v Celju (CELJ) in za horizontalni koordinati od $-6,9$ mm v Idriji (IDRI) do 34,1 mm v Celju (CELJ), glej sliko 6. RMS koordinat stalnih GNSS-postaj iz neposredne primerjave – enačba (2) – znaša 15,7 mm (Berk, 2019, str. 737–738 in 745).



Slika 6: Popravki koordinat [mm] iz D96 v D17 na stalnih GNSS-postajah omrežja SIGNAL in vanj vključenih postajah sosednjih omrežij.

K rezultatom obeh analiz (sliki 5 in 6) pritiče nekaj komentarjev. Viden je tako različen razpon kot tudi trend odstopanj D96- in D17-koordinat. Slednje lahko razumemo kot razhajanje regresijskih ploskev odstopanj po posameznih koordinatah (upoštevaje lokacije točk) iz obeh nizov, torej na podlagi EUREF-točk in stalnih GNSS-postaj. Formalno je D96 realiziran z EUREF-točkami (v nadaljevanju: $D96_{EUREF}$), ki so bile vključene v EUREF GPS-izmere v letih 1994–1996. Zavedati se moramo, da je bilo omrežje SIGNAL vzpostavljeno dobro desetletje kasneje. D96-koordinate stalnih GNSS-postaj (v

nadaljevanju: $D96_{\text{SIGNAL}}$) temeljijo na Mini EUREF GPS-izmeri v letu 2007, ki je sicer vključevala tudi pet uradnih EUREF-točk (Donačka gora, Korada, Kucelj, Mališa in Velika Kopa), vendar pa te potem niso bile uporabljene pri določitvi datuma GNSS-mreže (Obvestilo, 2007), ampak je dejansko šlo za novo realizacijo ETRS89, in sicer na način, da se le-ta kar se da približa prvotni. Težava pri tem je bila nepoznavanje geodinamike ozemlja Slovenije; pri modeliranju vektorjev hitrosti na GNSS-točkah je bil uporabljen kar globalni model NUVEL-1A (DeMets in sod., 1994). Odstopanja pa med drugim izhajajo tudi iz različnih ogrodij obeh realizacij (ITRF96/ETRF96 oz. ITRF2005/ETRF96), razlik v kakovosti ITRF-ov v času obeh realizacij in kakovosti tirnic GNSS-satelitov ter ne nazadnje iz starosti posamezne realizacije (več kot desetletje oziroma več kot dve desetletji), relativni odnosi v geodetski mreži se namreč zaradi delovanja tektonike s časom spreminjajo.

V nadaljevanju so bile izvedene različne primerjave koordinat obeh nizov GNSS-točk (EUREF-točk in stalnih GNSS-postaj), in sicer ob predhodni izvedbi optimalnih translatorskih, togih in podobnostnih (3-, 6- in 7-parametričnih) transformacij. Pri tem so bili izločani tudi posamezni podnizi točk (npr. stalne GNSS-postaje sosednjih omrežij, vse stalne GNSS-postaje s koordinatnimi odstopanji, večjimi od 30 mm, vse EUREF-točke s koordinatnimi odstopanji, večjimi od 40 mm). Izvedene so bile tudi primerjave koordinat ob predhodni redukciji le-teh na referenčni elipsoid (tj. pri $b = 0$). Iz niza EUREF-točk so bile kot nezanesljive izločene točke na Mangartu (0179) in Debelem vrhu (0376), v Kranjski Gori (KRG0) in Ribnici (RIBN) ter obe hrvaški točki – torej na Brusniku (BRSN) in v Pulju (PULJ). Izmed stalnih GNSS-postaj so bile zaradi slabše kakovosti določitve koordinat izločene vse naknadno vključene postaje sosednjih omrežij ter še postaja v Kopru (KOPE), za katero je bilo ugotovljeno, da je lokalno nestabilna (npr. Berk in sod., 2019, slika 3).

Na koncu sta bili izbrani transformaciji, ki sta vključevali prečiščena niza:

- 41 izbranih EUREF-točk in
- 15 izbranih stalnih GNSS-postaj omrežja SIGNAL.

S pomočjo obeh prečiščenih nizov točk sta bili določeni optimalni togi (6-parametrični) transformaciji med $D96$ in $D17$ – enačba (3) pri $D = 0$ (enakost meril) –, in sicer posebej za EUREF-točke in posebej za stalne GNSS-postaje omrežja SIGNAL.

Parametri optimalne toge (6-parametrične) transformacije iz $D96_{\text{EUREF}}$ v $D17$, določeni na podlagi 41 izbranih EUREF-točk, so v preglednici 4.

Preglednica 4: Optimalni parametri transformacije EUREF-točk iz $D96_{\text{EUREF}}$ v $D17$ (Berk, 2019, str. 774).

T_x [mm]	T_y [mm]	T_z [mm]	D [ppb]	R_x [mas]	R_y [mas]	R_z [mas]	Epoha
-298,88	265,67	208,88	0,00	24,308	-2,025	39,832	2016,75

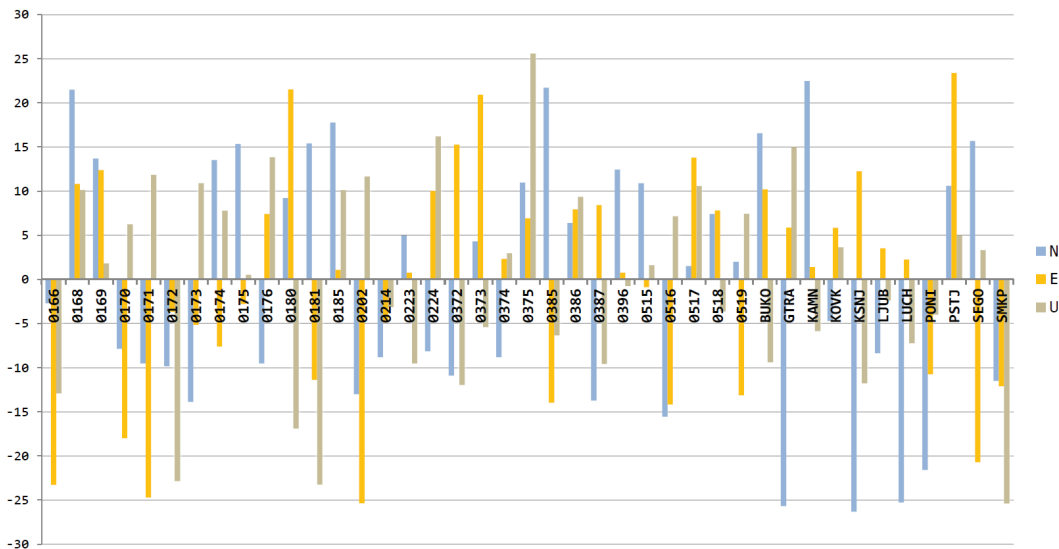
Za obratno transformacijo lahko uporabimo parametre z nasprotnimi predznaki, ki so v preglednici 5.

Preglednica 5: Optimalni parametri transformacije EUREF-točk iz $D17$ v $D96_{\text{EUREF}}$ (Berk, 2019, str. 778).

T_x [mm]	T_y [mm]	T_z [mm]	D [ppb]	R_x [mas]	R_y [mas]	R_z [mas]	Epoha
298,88	-265,67	-208,88	0,00	-24,308	2,025	-39,832	2016,75

Označimo z $D17_{\text{TRANS}_5}$ koordinate, dobljene iz končnih $D17$ -koordinat EUREF-izmere 2016, in sicer s transformacijo s parametri v preglednici 5. Popravki koordinat po izvedbi takšne toge (6-parametrične) transformacije

(tj. $D17_{\text{TRANS}_5}$ minus $D96_{\text{EUREF}}$) znašajo za izbranih 41 EUREF-točk po višini (U) od $-25,4$ mm v Kopru, na pomolu (SMKP), do $25,6$ mm na Gorjancih (0375) in za horizontalni koordinati (N , E) od $-26,3$ mm na Košenjaku (KSNJ) do $23,4$ mm v Postojni (PSTJ), glej sliko 7. RMS koordinat po optimalni togi (6-parametrični) transformaciji prečiščenega niza EUREF-točk – enačba (2) – znaša $13,0$ mm (Berk, 2019, str. 773–774).



Slika 7: Popravki koordinat [mm] iz D96 v D17 na izbranih EUREF-točkah po izvedbi optimalne toge (6-parametrične) transformacije.

Parametri optimalne toge (6-parametrične) transformacije iz $D96_{\text{SIGNAL}}$ v D17, določeni na podlagi 15 izbranih stalnih GNSS-postaj omrežja SIGNAL, so v preglednici 6.

Preglednica 6: Optimalni parametri transformacije stalnih GNSS-postaj iz $D96_{\text{SIGNAL}}$ v D17 (Berk, 2019, str. 782).

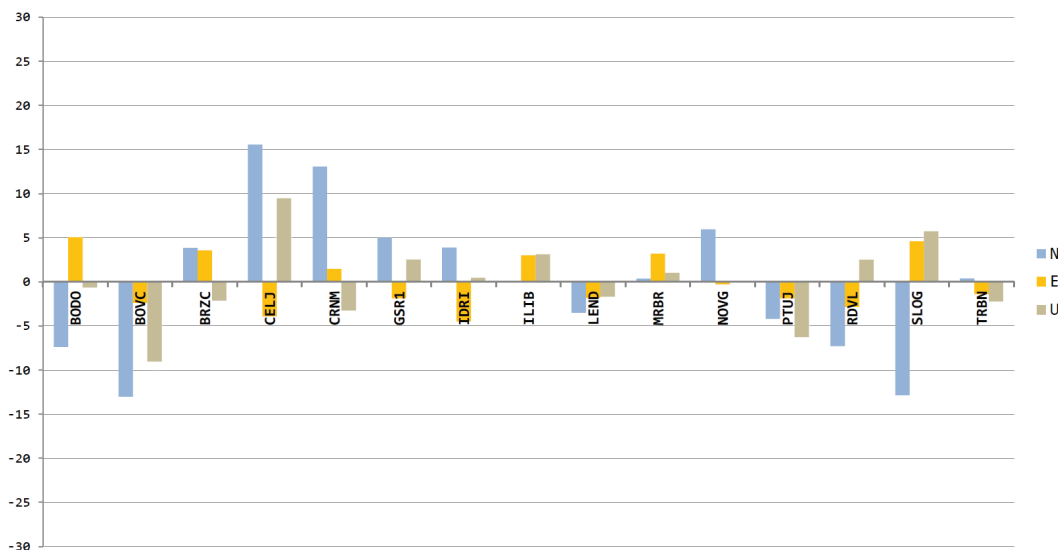
T_x [mm]	T_y [mm]	T_z [mm]	D [ppb]	R_x [mas]	R_y [mas]	R_z [mas]	Epoha
-174,39	-68,60	193,65	0,00	11,272	-5,321	8,907	2016,75

Za obratno transformacijo uporabimo parametre z nasprotnimi predznaki, ki so v preglednici 7.

Preglednica 7: Optimalni parametri transformacije stalnih GNSS-postaj iz D17 v $D96_{\text{SIGNAL}}$ (Berk, 2019, str. 786).

T_x [mm]	T_y [mm]	T_z [mm]	D [ppb]	R_x [mas]	R_y [mas]	R_z [mas]	Epoha
174,39	68,60	-193,65	0,00	-11,272	5,321	-8,907	2016,75

Označimo z $D17_{\text{TRANS}_7}$ koordinate, dobljene iz končnih D17-koordinat EUREF-izmere 2016, in sicer s transformacijo s parametri iz preglednice 7. Popravki koordinat po izvedbi takšne toge (6-parametrične) transformacije (tj. $D17_{\text{TRANS}_7}$ minus $D96_{\text{SIGNAL}}$) znašajo za izbranih 15 stalnih GNSS-postaj omrežja SIGNAL po višini (U) od $-9,0$ mm v Bovcu (BOVC) do $9,5$ mm v Celju (CELJ) in za horizontalni kooordinati (N , E) od $-13,0$ mm v Bovcu (BOVC) do $15,6$ mm v Celju (CELJ); na stalni GNSS-postaji v Ljubljani (GSR1) znašajo popravki po višini $2,5$ mm in za horizontalni koordinati do $5,0$ mm, glej sliko 8. RMS koordinat po optimalni togi (6-parametrični) transformaciji prečiščenega niza stalnih GNSS-postaj – enačba (2) – znaša $6,0$ mm (Berk, 2019, str. 781–782), kar je primerljivo z ujemanjem leta 2008 ponovljene realizacije ETRS89 v Nemčiji s predhodno realizacijo v letu 2002 (Altiner in Perlt, 2018).



Slika 8: Popravki koordinat [mm] iz D96 v D17 na izbranih stalnih GNSS-postajah omrežja SIGNAL po izvedbi optimalne toge (6-parametrične) transformacije.

S tako določeno optimalno togo (6-parametrično) transformacijo iz $D96_{\text{SIGNAL}}$ v D17 – parametri v preglednici 6 – je bil ocenjen tudi dejanski premik stalne GNSS-postaje v Kopru (KOPE) med GNSS-izmerama v letih 2007 in 2016. Ocene komponent premika GNSS-antene so: 36,1 mm proti vzhodu, 6,2 mm proti severu in 0,8 mm navzgor (Berk, 2019, str. 789); posebej komponenta premika proti vzhodu (tj. v smeri proti obali, pravokotno nanjo) je izrazita, saj presega šestkratnik RMS-ja koordinat iz optimalne transformacije.

6 DOLOČITEV KONČNIH KOORDINAT TOČK (ETRS89/D96-17)

Za določanje koordinat z GNSS v Sloveniji sta bili pomembni tako mreža EUREF-točk kot tudi omrežje stalnih GNSS-postaj. Na prve so bile vezane GNSS-izmere pred vzpostavitvijo omrežja SIGNAL, vključno z osnovnim nizom približno 2000 veznih točk vsedržavnega modela transformacije med D48/GK in D96/TM, na druge pa velika večina GNSS-izmer od začetka leta 2008. Novo določene koordinate vseh aktivnih in pasivnih GNSS-točk v Sloveniji z oznako ETRS89/D96-17 temeljijo tako na realizaciji ETRS89/D96 (Berk in sod., 2003 in 2004) kot tudi na realizaciji ETRS89/D17 (Berk in sod., 2018) in so dobile oznako D96-17. Izbrana rešitev kar najbolj ohranja tako koordinate EUREF-točk ($D96_{\text{EUREF}}$) kot tudi točk omrežja SIGNAL ($D96_{\text{SIGNAL}}$), hkrati pa upošteva geometrijske odnose v GNSS-mreži, ki so veljali med izvedbo EUREF-izmere 2016, torej relativne premike zaradi delovanja tektonike v obdobju dobrih 20 let (Berk, 2019, str. 792). Prvo je pomembno zaradi ohranjanja kakovosti koordinat vseh točk v zbirkah prostorskih podatkov, določenih s tehnologijo GNSS – brez ponovne transformacije –, drugo pa zaradi zagotavljanja kar najvišje kakovosti določanja položaja z uporabo GNSS v prihodnje. Kakovost določanja položaja v realnem času kot tudi z naknadno obdelavo je namreč odvisna tudi od kakovosti koordinat GNSS-točk, uporabljenih za navezavo oziroma za določitev datuma GNSS-mreže. Izboljšanje kakovosti je bilo že zaznано, na primer pri ponovni določitvi koordinat točk kontrolne GNSS

-mreže po uveljavitvi novih koordinat (D96-17) stalnih GNSS-postaj v omrežju SIGNAL (Kontrolna GNSS-mreža, 2020).

Za določitev končnih D96-17-koordinat vseh točk EUREF-izmere 2016 je bila izbrana kompromisna transformacija koordinat, ki temelji na obeh prečiščenih nizih EUREF-točk oziroma stalnih GNSS-postaj omrežja SIGNAL. Koordinate GNSS-točk v D96-17 so težišča položajev, dobljenih z obema optimalnima transformacijama končnega niza koordinat v D17, torej optimalne toge (6-parametrične) transformacije, določene na podlagi 41 izbranih EUREF-točk, ter optimalne toge (6-parametrične) transformacije, določene na podlagi 15 izbranih stalnih GNSS-postaj omrežja SIGNAL:

$$\begin{bmatrix} X \\ Y \\ Z \end{bmatrix}_{D96-17} = \begin{bmatrix} X \\ Y \\ Z \end{bmatrix}_{D17} + \frac{1}{2} \left(\begin{bmatrix} T_x \\ T_y \\ T_z \end{bmatrix}_{EUREF} + \begin{bmatrix} T_x \\ T_y \\ T_z \end{bmatrix}_{SIGNAL} \right) + \frac{1}{2} \left(\begin{bmatrix} D & -R_z & R_y \\ R_z & D & -R_x \\ -R_y & R_x & D \end{bmatrix}_{EUREF} + \begin{bmatrix} D & -R_z & R_y \\ R_z & D & -R_x \\ -R_y & R_x & D \end{bmatrix}_{SIGNAL} \right) \times \begin{bmatrix} X \\ Y \\ Z \end{bmatrix}_{D17}, \quad (6)$$

kjer so:

- D ... razlika enot merila iz preglednice 5 (matrika $\begin{bmatrix} \cdot & \cdot \end{bmatrix}_{EUREF}$) in iz preglednice 7 (matrika $\begin{bmatrix} \cdot & \cdot \end{bmatrix}_{SIGNAL}$); v obeh primerih velja $D = 0$, saj gre za togi transformaciji,
- T_x, T_y, T_z ... pomiki po koordinatnih oseh iz preglednice 5 (vektor $\begin{bmatrix} \cdot \\ \cdot \\ \cdot \end{bmatrix}_{EUREF}$) in iz preglednice 7 (vektor $\begin{bmatrix} \cdot \\ \cdot \\ \cdot \end{bmatrix}_{SIGNAL}$) ter
- R_x, R_y, R_z ... zasuki okoli koordinatnih osi iz preglednice 5 (matrika $\begin{bmatrix} \cdot & \cdot \end{bmatrix}_{EUREF}$) in iz preglednice 7 (matrika $\begin{bmatrix} \cdot & \cdot \end{bmatrix}_{SIGNAL}$).

Tako vzpostavljena transformacija po enačbi (6) je tudi toga (6-parametrična) transformacija; kot vidimo, so njeni parametri kar aritmetične sredine ustreznih parametrov obeh optimalnih togih (6-parametričnih) transformacij (iz preglednic 5 in 7); podani so v preglednici 8.

Preglednica 8: Parametri končne transformacije GNSS-točk iz D17 v D96-17 (Berk, 2019, str. 811).

T_x [mm]	T_y [mm]	T_z [mm]	D [ppb]	R_x [mas]	R_y [mas]	R_z [mas]	Epoha
236,635	-98,535	-201,265	0,00	-17,790	3,673	-24,3695	2016,75

Za obratno transformacijo uporabimo parametre z nasprotnimi predznaki, ki so v preglednici 9.

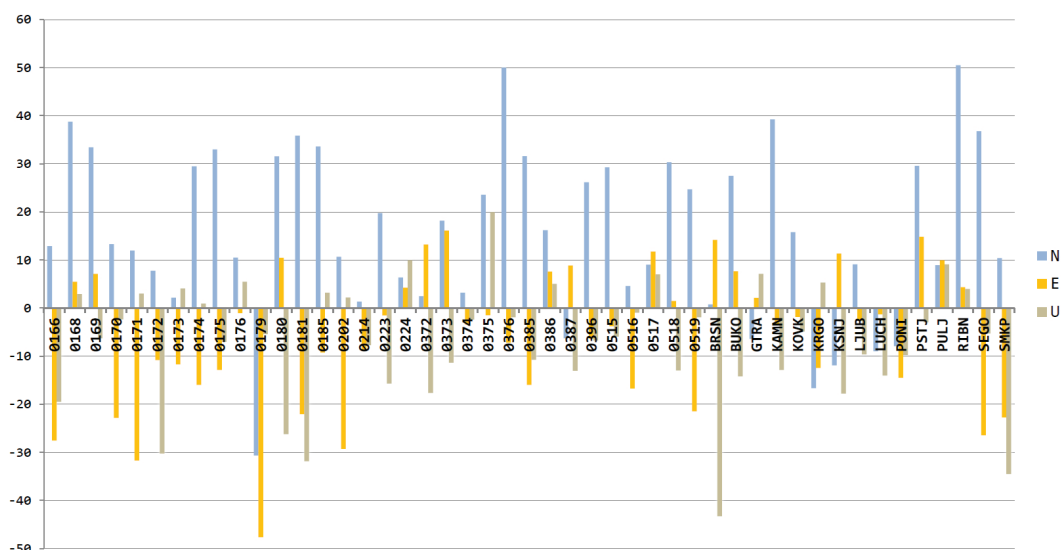
Preglednica 9: Parametri končne transformacije GNSS-točk iz D96-17 v D17 (Berk, 2019, str. 808).

T_x [mm]	T_y [mm]	T_z [mm]	D [ppb]	R_x [mas]	R_y [mas]	R_z [mas]	Epoha
-236,635	98,535	201,265	0,00	17,790	-3,673	24,3695	2016,75

Transformacija iz D17 v D96-17 – enačba (3) s parametri v preglednici 8 – je bila uporabljena za določitev novih, izboljšanih koordinat vseh točk EUREF-izmere 2016 v državnem referenčnem koordinatnem sistemu. Dobljene koordinate GNSS-točk so bile za stalne GNSS-postaje omrežja SIGNAL in vanj vključene postaje sosednjih omrežij tudi že objavljene v obvestilu Službe za GNSS (Obvestilo, 2019) in

v posodobljenih log-datotekah (SIGNAL, 2016). Koordinate vseh točk, vključenih v EUREF-izmero 2016 – datoteka SVN16_D96-17.CRD –, so na voljo na portalu Prostor (EUREF2016, 2020).

Izvedena je bila še primerjava starih (D96) in novih, izboljšanih (D96-17) koordinat tako za EUREF-točke kot tudi za stalne GNSS-postaje omrežja SIGNAL in vanj vključene postaje sosednjih omrežij (Berk, 2019, str. 820–833). Popravki koordinat za 47 EUREF-točk z obema nizoma koordinat (tj. D96-17 minus D96_{EUREF}) znašajo po višini (U) od –43,3 mm na Brusniku (BRSN) do 20,0 mm na Gorjancih (0375) in za horizontalni koordinati (N , E) od –47,7 mm na Mangartu (0179) do 50,5 mm v Ribnici (RIBN); med slovenskimi točkami je največji zabeležen popravek po višini –34,5 mm v Kopru, na pomolu (SMKP), glej sliko 9.

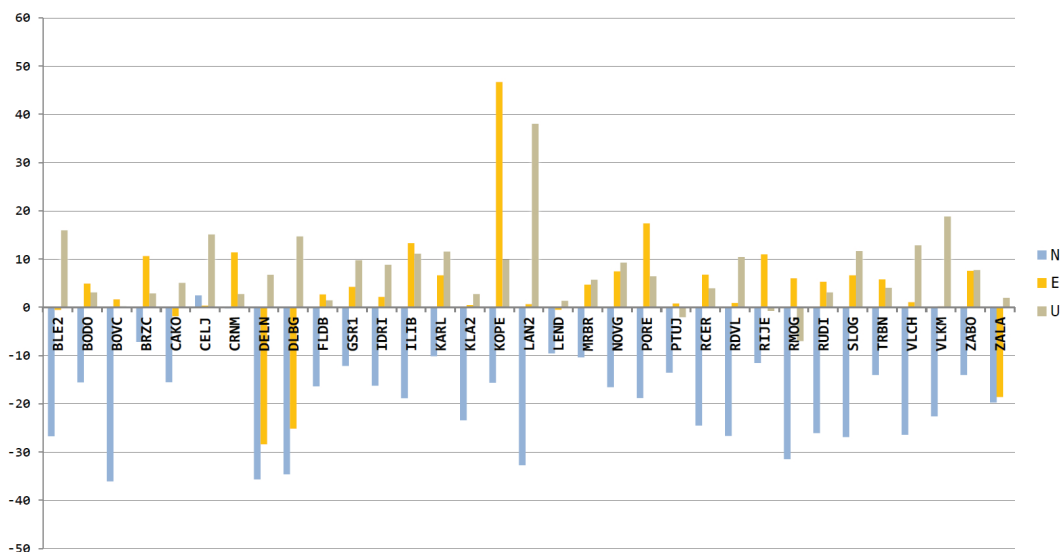


Slika 9: Popravki koordinat [mm] iz D96 v D96-17 na EUREF-točkah z obema nizoma koordinat.

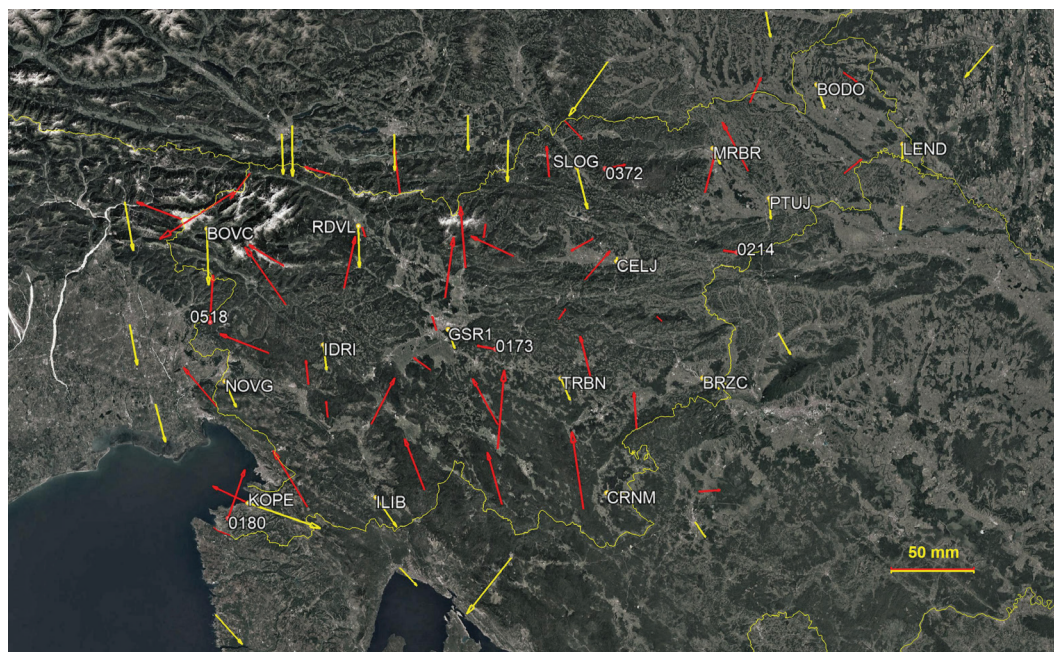
Popravki koordinat za 33 stalnih GNSS-postaj z obema nizoma koordinat (tj. D96-17 minus D96_{SIGNAL}) znašajo po višini (U) od –7,0 mm v Možnici (RMOG) do 38,1 mm v Vajškri (LAN2) in za horizontalni koordinati (N , E) od –36,1 mm v Bovcu (BOVC) do 46,7 mm v Kopru (KOPE), kjer je šlo v večjem delu za dejanski premik GNSS-antene; med slovenskimi postajami znašajo popravki po višini od –2,0 mm na Ptuj (PTUJ) do 15,1 mm v Celju (CELJ); na stalni GNSS-postaji v Ljubljani (GSR1) znašajo popravki po višini 9,8 mm in za horizontalni koordinati do –12,2 mm, glej sliko 10.

Popravki horizontalnih koordinat (N , E) ob uveljavitvi D96-17-koordinat na EUREF-točkah in stalnih GNSS-postajah omrežja SIGNAL in vanj vključenih postaj sosednjih omrežij (sliki 9 in 10) so v grafični obliki – z vektorji horizontalnih popravkov – prikazani na sliki 11. Najdaljši vektor horizontalnega popravka na EUREF-točkah meri 56,7 mm na Mangartu (0179); povprečna dolžina horizontalnih vektorjev popravkov na EUREF-točkah je 25,1 mm, središčna (mediana) pa 25,0 mm. Najdaljši vektor horizontalnega popravka na stalnih GNSS-postajah meri 49,3 mm v Kopru (KOPE); povprečna dolžina horizontalnih vektorjev popravkov na stalnih GNSS-postajah je 22,3 mm, središčna pa 22,6 mm. Povprečna dolžina horizontalnih vektorjev popravkov na postajah omrežja SIGNAL brez vanj vključenih

postaj sosednjih omrežij in brez kopske postaje, ki se je premaknila, je 16,9 mm, središčna pa 15,2 mm. Videti je, kakor da si vektorji z EUREF-točk in stalnih GNSS-postaj 'prihajajo naproti'; rezultat je uskladitev oziroma premostitev koordinatnih razlik med $D96_{\text{EUREF}}$ in $D96_{\text{SIGNAL}}$.



Slika 10: Popravki koordinat [mm] iz D96 v D96-17 na stalnih GNSS-postajah omrežja SIGNAL in vanj vključenih postajah sosednjih omrežij z obema nizoma koordinat.



Slika 11: Vektorji horizontalnih popravkov ob privzemu D96-17-koordinat na EUREF-točkah – rdeča barva – in stalnih GNSS-postajah – rumena barva (podloga: Google Earth, 2018).

RMS koordinat EUREF-točk in stalnih GNSS-postaj omrežja SIGNAL in vanj vključenih postaj sosednjih omrežij iz neposredne primerjave izvornih ($D96_{\text{EUREF}}$ in $D96_{\text{SIGNAL}}$) ter izboljšanih koordinat ($D96-17$) – enačba (2) – znaša 17,2 mm (Berk, 2019, str. 821) in je lahko v pomoč pri oceni realno dosegljive kakovosti določanja koordinat z navezavo na državni horizontalni referenčni koordinatni sistem, kot je bil realiziran pred 1. januarjem 2020, torej pred začetkom uporabe novih, izboljšanih koordinat. Za najnatančnejša inženirska dela je sicer mogoče ohraniti višjo kakovost predhodno določenih koordinat z izvedbo naknadne transformacije v $D96-17$, ki odpravi sistematični del koordinatnih odstopanj. Za GNSS-mrežo z geodetskim datumom, vezanim na EUREF-točke, je treba izvesti togi (6-parametrični) transformaciji:

- iz $D96_{\text{EUREF}}$ v $D17$ s parametri iz preglednice 4 in nato še
- iz $D17$ v $D96-17$ s parametri iz preglednice 8.

Za GNSS-mrežo z geodetskim datumom, vezanim na stalne GNSS-postaje omrežja SIGNAL, je treba izvesti togi (6-parametrični) transformaciji:

- iz $D96_{\text{SIGNAL}}$ v $D17$ s parametri iz preglednice 6 in nato še
- iz $D17$ v $D96-17$ s parametri iz preglednice 8.

Dobljeni sistematični popravki koordinat znašajo v obeh primerih ($D96-17$ je ‘na pol poti’ med $D96_{\text{EUREF}}$ in $D96_{\text{SIGNAL}}$) največ do 10 mm po višini (U), za horizontalni koordinati pa do 24 mm (N) oziroma do 12 mm (E). Največji popravki N - in U -koordinat se pojavijo v najzahodnejšem delu države (Breginjski kot), največji popravki E -koordinat pa v najjužnejšem delu države (Obkolpje).

7 SKLEP

Izračun EUREF-izmere 2016 je prinesel novo realizacijo ETRS89 v Sloveniji (ETRS89/ $D17$), ki je bila tudi verifilirana s strani EUREF GB. Vendar pa so koordinatna odstopanja glede na prvotno realizacijo (ETRS89/ $D96$) prevelika, da bi lahko novo realizacijo uveljavili brez ponovne transformacije vseh prostorskih podatkovnih zbirk v državi.

Pragmatična rešitev za nastalo težavo je bila uporaba optimalne toge (6-parametrične) transformacije iz $D17$ v $D96$. Nove koordinate z oznako ETRS89/ $D96-17$ kar najbolj ohranjajo tako koordinate EUREF-točk kot tudi koordinate stalnih GNSS-postaj omrežja SIGNAL, hkrati pa ohranjajo geometrijske odnose v obeh mrežah iz časa izvedbe GNSS-izmere EUREF Slovenija 2016, torej dobrih 20 let po vzpostavitvi $D96$. Primerjava z neodvisno obdelavo časovnih vrst koordinat za stalne GNSS-postaje omrežja SIGNAL pokaže dobro ujemanje geometrije mreže; odstopanja koordinat po izvedeni optimalni togi (6-parametrični) transformaciji so večinoma reda velikosti 1–2 mm za horizontalne koordinate in 3–6 mm po višini (Sterle in Stopar, 2019).

Koordinate $D96-17$ bistveno izboljšajo skladnost mreže EUREF-točk, kombinirane geodetske mreže 0. reda in omrežja SIGNAL, kar zagotavlja višjo natančnost in točnost določanja koordinat v državnem referenčnem koordinatnem sistemu. Glede na predpisano natančnost (Pravilnik, 2007, 35. člen) uveljavitev novih koordinat ne bo vplivala na meritve v zemljiškem katastru; koordinate v vseh prostorskih podatkovnih zbirkah v državi ostanejo nespremenjene.

V okviru izračuna GNSS-izmere EUREF Slovenija 2016 izvedene analize pa potrjujejo domnevo, da zaradi precej dejavne tektonike na ozemlju države statični geodetski datum ne more povsem ustrezati

potrebam sodobne geodezije, vsaj ne na dolgi rok. Zato bo v prihodnje za zagotavljanje ustrezne kakovosti državnega referenčnega koordinatnega sistema očitno treba izbirati med preostalimi tremi mogočimi scenariji (Stopar in sod., 2015):

- periodične nove realizacije ETRS89 na vsakih 10 do največ 20 let,
- prehod na poldinamičen geodetski datum oziroma
- prehod na dinamičen (4R) geodetski datum.

Skladno s strategijo EUREF za prihodnje realizacije ETRS89 (Bruyninx in sod., 2017) se za zdaj zdi optimalen prehod na koordinatni sistem s poldinamičnim geodetski datumom – po terminologiji IAG je to polkinematičen referenčni sestav (Poutanen in Häkli, 2018) –, ki pa zahteva homogeno in dovolj gosto vseevropsko polje vektorjev hitrosti (Medved in sod., 2018). To bo omogočilo dovolj kakovostno transformacijo koordinat poljubne točke v državi v poljubno izbrano epoho. Časovna sestavina bo tako slej ko prej postala obvezna sestavina določitve položaja – enakovredna koordinatam točke – in ne zgolj metapodatek.

Zahvala

Za koristne nasvete pri obdelavi GNSS-izmere EUREF Slovenija 2016 se zahvaljujemo članom Upravnega odbora EUREF (EUREF GB), še posebej Carine Bruyninx, Rolfu Dachu in Ambrusu Kenyeresu. Za pomoč pri pridobivanju podatkov omrežja SIGNAL in kombinirane geodetske mreže 0. reda se zahvaljujemo Niku Fabianiju in Klemnu Ritlopu z Geodetskega inštituta Slovenije. Za posredovane podatke omrežja CROPOS se zahvaljujemo Marijanu Marjanoviču z Državne geodetske uprave (DGU) v Zagrebu, za posredovane podatke omrežja APOS pa Helmutu Titzu z Zveznega urada za meroslovje in geodezijo (BEV) na Dunaju. Del predstavljenih raziskav je v okviru raziskovalnega programa P2-0227 Geoinformacijska infrastruktura in trajnostni prostorski razvoj Slovenije sofinancirala Javna agencija za raziskovalno dejavnost Republike Slovenije iz državnega proračuna.

Literatura in viri:

- Altamimi, Z. (2003). Discussion on How to Express a Regional GPS Solution in the ITRF. Report on the Symposium of the IAG Reference Frame Subcommittee for Europe (EUREF), Ponta Delgada, Portugalska, 5.–8. junij 2002. EUREF publication, št. 12. Mitteilungen des Bundesamtes für Kartographie und Geodäsie, zv. 29, str. 162–167. Frankfurt na Majni: Verlag des Bundesamtes für Kartographie und Geodäsie. <http://www.euref.eu/symposia/book2002/162-167.pdf>, pridobljeno 27. 11. 2019.
- Altamimi, Z. (2018). Relationship and Transformation between the International and the European Terrestrial Reference Systems. EUREF Technical Note 1, Version June 28, 2018. IAG Reference Frame Subcommittee for Europe (EUREF), 11 str. <http://etrs89.ensg.ign.fr/pub/EUREF-TN-1.pdf>, pridobljeno 27. 11. 2019.
- Altamimi, Z., Collilieux, X., Métivier, L. (2011). ITRF2008: An Improved Solution of the International Terrestrial Reference Frame. *Journal of Geodesy*, 85 (8), 457–473. DOI: <https://doi.org/10.1007/s00190-011-0444-4>
- Altiner, Y., Perl, J. (2018). Geodätischer Raumbezug von GNSS-Messungen – Der Beitrag des BKG zur Realisierung 2016. *Zeitschrift für Geodäsie, Geoinformation und Landmanagement*, 143 (2), 114–120. DOI: <https://doi.org/10.12902/zfz-0201-2018>
- Araszkiewicz, A., Völksen, C. (2017). The Impact of the Antenna Phase Center Models on the Coordinates in the EUREF Permanent Network. *GPS Solutions*, 21 (2), 747–757. DOI: <https://doi.org/10.1007/s10291-016-0564-7>
- Argus, D. F., Gordon, R. G. (1991). No-Net-Rotation Model of Current Plate Velocities Incorporating Plate Motion Model NUVEL-1. *Geophysical Research Letters*, 18 (11), 2039–2042. DOI: <https://doi.org/10.1029/91GL01532>
- Berk, S. (2019). Obdelava GNSS-kampanje »EUREF Slovenija 2016«. Končno poročilo, 1106 str. + 12 prilog. Ljubljana (2. oktober 2019), Geodetska uprava Republike Slovenije.
- Berk, S., Fabiani, N., Koler, B., Komadina, Ž., Kuhar, M., Medved, K., Oven, K., Pavlovčič Prešeren, P., Režek, J., Ritlop, K., Sterle, O., Stopar, B., Triglav Čekada, M. (2019). National Report of Slovenia to the EUREF 2019 Symposium in Tallinn. Report on the Symposium of the IAG Reference Frame Subcommittee for Europe (EUREF), Talin, Estonija, 21.–24. maj 2019, št. 29, 6 str. <http://www.euref.eu/symposia/2019Tallinn/05-24-p-Slovenia.pdf>, pridobljeno 27. 11. 2019.
- Berk, S., Komadina, Ž., Marjanovič, M., Radovan, D., Stopar, B. (2003). Kombinirani izračun EUREF GPS-kampanj na območju Slovenije. *Geodetski vestnik*, 47 (4),

- 414–422. http://www.geodetski-vestnik.com/47/4/gv47-4_414-422.pdf, pridobljeno 27. 11. 2019.
- Berk, S., Komadina, Ž., Marjanović, M., Radovan, D., Stopar, B. (2004). The Recomputation of the EUREF GPS Campaigns in Slovenia. Report on the Symposium of the IAG Reference Frame Subcommittee for Europe (EUREF), Toledo, Španija, 4.–7. junij 2003. EUREF publication, št. 13. Mitteilungen des Bundesamtes für Kartographie und Geodäsie, zv. 33, str. 132–149. Frankfurt na Majni: Verlag des Bundesamtes für Kartographie und Geodäsie. <http://www.euref.eu/symposia/book2003/4-02-Berk.pdf>, pridobljeno 27. 11. 2019.
- Berk, S., Sterle, O., Medved, K., Komadina, Ž., Stopar, B. (2018). Computation of the EUREF Slovenia 2016 GNSS Campaign. Report on the Symposium of the IAG Reference Frame Subcommittee for Europe (EUREF), Amsterdam, Nizozemska, 30. maj–1. junij 2018, št. 28, 27 str. + 7 prilog. <http://www.euref.eu/symposia/2018Amsterdam/01-03-p-Berk.pdf>, pridobljeno 27. 11. 2019.
- Boehm, J., Werl, B., Schuh, H. (2006). Troposphere Mapping Functions for GPS and Very Long Baseline Interferometry from European Centre for Medium-Range Weather Forecasts Operational Analysis Data. *Journal of Geophysical Research: Solid Earth*, 111 (B2), 406, 9 str. DOI: <https://doi.org/10.1029/2005JB003629>
- Bos, M. S., Scherneck, H.-G. (2018). Free Ocean Tide Loading Provider. Onsala Space Observatory / Onsalarymdobservatorium. <http://holt.oso.chalmers.se/loading/>, pridobljeno 11. 1. 2018.
- Bruyninx, C., Altamimi, Z., Brockmann, E., Caporali, A., Dach, R., Dousa, J., Fernandes, R., Gianniu, M., Habrich, H., Ihde, J., Jivall, L., Kenyeres, A., Lidberg, M., Pacione, R., Poutanen, M., Szafraneck, K., Söhne, W., Stangl, G., Torres, J., Völksen, C. (2017). Implementation of the ETRS89 in Europe: Current Status and Challenges. Proceedings of the Symposium on Reference Frames for Applications in Geosciences (REFAG 2014, Kirchberg, Luksemburg). International Association of Geodesy Symposia, 146, 135–145. DOI: https://doi.org/10.1007/1345_2015_130
- Bruyninx, C., Altamimi, Z., Caporali, A., Kenyeres, A., Lidberg, M., Stangl, G., Torres, J. A. (2013). Guidelines for EUREF Densifications. Version 5. IAG Reference Frame Subcommittee for Europe (EUREF), 9 str.
- Bruyninx, C., Habrich, H., Söhne, W., Kenyeres, A., Stangl, G., Völksen, C. (2012). Enhancement of the EUREF Permanent Network Services and Products. Proceedings of the 2009 IAG Symposium "Geodesy for Planet Earth" (2009, Buenos Aires, Argentina). International Association of Geodesy Symposia, 136, 27–34. DOI: https://doi.org/10.1007/978-3-642-20338-1_4
- BSWUSER52 (2017). Bernese Software 5.2 Users Server, <ftp://ftp.unibe.ch/aib/BSWUSER52/>, pridobljeno 22. 9. 2017.
- Caporali, A., Lidberg, M., Stangl, G. (2011). Lifetime of ETRS89 Coordinates. Report on the Symposium of the IAG Reference Frame Subcommittee for Europe (EUREF), Kišinev, Moldavija, 25.–28. maj 2011, št. 21, 4 str. <http://www.euref.eu/symposia/2011Chisinau/01-03-p-Caporali.pdf>, pridobljeno 27. 11. 2019.
- CDDIS (2016). Crustal Dynamics Data Information System. National Aeronautics and Space Administration (IGS RINEX Data). <ftp://cddis.gsfc.nasa.gov/gnss/data/daily/2016/>, pridobljeno 5. 12. 2016.
- Dach, R., Fridez, P. (2017). Bernese GNSS Software, Version 5.2. Tutorial, 166 str. Bern: Astronomical Institute, University of Bern.
- Dach, R., Lutz, S., Walser, P., Fridez, P. (2015). Bernese GNSS Software, Version 5.2. User manual, 852 str. Bern: Astronomical Institute, University of Bern.
- DeMets, C., Gordon, R. G., Argus, D. F., Stein, S. (1994). Effect of Recent Revisions to the Geomagnetic Reversal Time Scale on Estimates of Current Plate Motions. *Geophysical Research Letters*, 21 (20), 2191–2194. DOI: <https://doi.org/10.1029/94GL02118>
- EPN (2016–2018). EUREF Permanent GNSS Network. <http://www.epncb.oma.be>, pridobljeno 5. 12. 2016–5. 2. 2018.
- EPN RINEX (2016). EUREF Permanent GNSS Network (EPN RINEX Data). <ftp://ftp.epncb.oma.be/pub/obs/2016/>, pridobljeno 23. 12. 2016.
- ETRF/ITRF (2017). EUREF Permanent GNSS Network (ETRF/ITRF Transformation), http://www.epncb.oma.be/_productsservices/coord_trans/, pridobljeno 5. 2. 2018.
- EUREF2016 (2020). Koordinate ključnih GNSS-točk. Portal Prostor. Geodetska uprava Republike Slovenije, <https://www.e-prostor.gov.si/zbirke-prostorskih-podatkov/drzavni-prostorski-koordinatni-sistem/zbirka-podatkov-drzavnih-geodetskih-tochk/#tab3-1643>, pridobljeno 13. 3. 2020.
- EUREF Resolutions (2003). EUREF 2003 Resolutions. 13th Symposium of the IAG Reference Frame Subcommittee for Europe (EUREF), Toledo, Španija, 4.–7. junij 2003. http://www.euref.eu/html/resolutions_toledo2003.pdf, pridobljeno 27. 11. 2019.
- EUREF Resolutions (2018). EUREF 2018 Resolutions. 28th Symposium of the IAG Reference Frame Subcommittee for Europe (EUREF), Amsterdam, Nizozemska, 30. maj–1. junij 2018. <http://www.euref.eu/symposia/2018Amsterdam/06-01-Resolutions-EUREF2018.pdf>, pridobljeno 27. 11. 2019.
- Google Earth (2018). Google Earth Pro, različica 7.3.1.4507. DigitalGlobe 2012, <https://www.google.com/earth/>, pridobljeno 9. 4. 2018.
- Häkli, P., Lidberg, M., Jivall, L., Norbeck, T., Tangen, O., Weber, M., Pihlak, P., Alekseenko, I., Paršeliunas, E. (2016). The NKG2008 GPS Campaign – Final Transformation Results and a New Common Nordic Reference Frame. *Journal of Geodetic Science*, 6 (1), 1–33. DOI: <https://doi.org/10.1515/jogs-2016-0001>
- Igb08 (2017). Class A EPN Station Positions and Velocities (Igb08), ftp://epncb.oma.be/epncb/station/coord/EPN/EPN_A_Igb08.SSC, pridobljeno 26. 4. 2017.
- IGS (2016). International GNSS Service. <http://www.igs.org/network>, pridobljeno 5. 12. 2016.
- IGS Orbits (2017). International GNSS Service (Final Orbits/Clocks and Earth Rotation Parameters). <ftp://www.igs.org/pub/product/>, pridobljeno 18. 9. 2017.
- ION Model (2018). Astronomical Institute, University of Bern (Global Ionosphere Model). <ftp://ftp.aiub.unibe.ch/CODE/2016/>, pridobljeno 22. 1. 2018.
- ITRF2008 Transformations (2018). Transformation parameters from ITRF2008 to past ITRFs, http://itrf.ign.fr/doc_ITRF/Transfo-ITRF2008_ITRFs.txt, pridobljeno 14. 2. 2018.
- JPL Ephemerides (2017). Jet Propulsion Laboratory, National Aeronautics and Space Administration (JPL Ephemerides). <ftp://ssd.jpl.nasa.gov/pub/eph/planets/ascii/de405/>, pridobljeno 26. 9. 2017.
- Kontrolna GNSS-mreža (2020). Mreža kontrolnih GNSS-točk. Portal Prostor. Geodetska uprava Republike Slovenije, <https://www.e-prostor.gov.si/zbirke-prostorskih>

- podatkov/državni-prostorski-koordinatni-sistem/zbirka-podatkov-drzavnih-geodetskih-tock/#tab4-1643, pridobljeno 31. 1. 2020.
- Kouba, J. (2009). A Guide to Using International GNSS Service (IGS) Products. Version 2.1, 34 str. International GNSS Service. <http://acc.igs.org/UsingIGSProductsVer21.pdf>, pridobljeno 16. 12. 2019.
- Medved, K. (2016). GNSS-kampanja »EUREF Slovenija 2016«. *Geodetski vestnik*, 60 (4), 752–758. http://www.geodetski-vestnik.com/60/4/gv60-4_medved.pdf, pridobljeno 27. 11. 2019.
- 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: <http://doi.org/10.15292/geodetski-vestnik.2018.04.567-586>
- Mesner, N., Berk, S., Mahnič, G., Radovan, D. (2007). Izračun Mini EUREF GPS-kampanje 2007. Tehnično poročilo, 15 str. + priloge. Ljubljana (13. december 2007), Geodetski inštitut Slovenije.
- NASA (2016). National Aeronautics and Space Administration. <https://cdsis.nasa.gov/index.html>, pridobljeno 5. 12. 2016.
- Noll, C. E. (2010). The Crustal Dynamics Data Information System: A Resource to Support Scientific Analysis Using Space Geodesy. *Advances in Space Research*, 45 (12), 1421–1440. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.asr.2010.01.018>
- Obvestilo (2007). Izračun koordinat stalnih postaj omrežja SIGNAL – uskladitev s slovenskim geodetskim datumom D96. Služba za GPS, Geodetski inštitut Slovenije. http://www.gu-signal.si/sites/default/files/Obvestilo_MiniEUREF07_21_12_2007.pdf, pridobljeno 16. 12. 2019.
- Obvestilo (2011). Izračun koordinat stalnih postaj sosednjih omrežij, vključenih v omrežje SIGNAL – uskladitev s slovenskim geodetskim datumom D96. Služba za GPS, Geodetski inštitut Slovenije. http://www.gu-signal.si/sites/default/files/Porocilo_izracunSosednjihPP_26_01_2011.pdf, pridobljeno 16. 12. 2019.
- Obvestilo (2019). Nove koordinate stalnih postaj omrežja SIGNAL na osnovi GNSS-izmere »EUREF Slovenija 2016« (koordinate ETRS89/D96-17). Služba za GNSS, Geodetski inštitut Slovenije in Geodetska uprava Republike Slovenije. http://www.gu-signal.si/sites/default/files/Obvestilo_12_12_2019-EUREF_SVN_2016.pdf, pridobljeno 16. 12. 2019.
- OLG (2016). Lustbühel Observatory / Observatorium Lustbühel Graz (RINEX Data). <ftp://olggps.oear.ac.at/pub/2016/>, pridobljeno 23. 12. 2016.
- Petit, G., Luzum, B. (2010). IERS Conventions. IERS Technical Note No. 36, 179 str. Frankfurt na Majni: Verlag des Bundesamtes für Kartographie und Geodäsie, <https://www.iers.org/SharedDocs/Publikationen/EN/IERS/Publications/tn/TechNote36/tn36.pdf>, pridobljeno 27. 11. 2019.
- Placer, L. (2008). Principles of the Tectonic Subdivision of Slovenia. *Geologija*, 51 (2), 205–217. DOI: <http://doi.org/10.5474/geologija.2008.021>
- Poutanen, M., Häkli, P. (2018). Future of National Reference Frames – from Static to Kinematic? *Geodesy and Cartography*, 67 (1), 117–129. DOI: <https://doi.org/10.24425/118697>
- Pravilnik (2007). Pravilnik o urejanju mej ter spreminjanju in evidentiranju podatkov v zemljiškem katastru. Uradni list RS, št. 8/07, 26/07, 48/18 in 51/18 – popr. <http://www.pisrs.si/Pis.web/pregledPredpisa?id=PRAV7341>, pridobljeno 12. 12. 2019.
- Reibschung, P., Griffiths, J., Ray, J., Schmid, R., Collilieux, X., Garayt, B. (2012). IGS08: The IGS Realization of ITRF2008. *GPS Solutions*, 16 (4), 483–494. DOI: <https://doi.org/10.1007/s10291-011-0248-2>
- Rete GNSS FVG (2016). Rete GNSS. Regione Autonoma Friuli Venezia Giulia. <https://www.regione.fvg.it/rafv/cms/RAFVG/ambiente-territorio/conoscere-ambiente-territorio/FOGLIA1/>, pridobljeno 1. 12. 2016.
- Schmid, R., Dach, R., Collilieux, X., Jäggi, A., Schmitz, M., Dillsner, F. (2016). Absolute IGS Antenna Phase Center Model IGS08.atx: Status and Potential Improvements. *Journal of Geodesy*, 90 (4), 343–364. DOI: <https://doi.org/10.1007/s00190-015-0876-3>
- SIGNAL (2016). Omrežje SIGNAL, Geodetska uprava Republike Slovenije. <http://www.gu-signal.si>, pridobljeno 28. 11. 2016.
- Standish, E. M. (1998). JPL Planetary and Lunar Ephemerides, DE405/LE405. Interoffice Memorandum, 312.F-98-048. Pasadena: JET Propulsion Laboratory.
- Sterle, O. (2015). Časovno odvisne geodetske mreže in koordinatni sistemi. Doktorska disertacija, št. 27/GO, 194 str. Ljubljana: Univerza v Ljubljani, Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo.
- Sterle, O., Stopar, B. (2007). Izračun Mini EUREF GPS-kampanje 2007. Tehnično poročilo, 13 str. Ljubljana (10. december 2007): Univerza v Ljubljani, Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo.
- Sterle, O., Stopar, B. (2019). Analitični del delovanja GNSS-omrežij. Končno poročilo, 24 str. + priloge. Ljubljana (november 2019), Univerza v Ljubljani, Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo.
- Stopar, B., Koler, B., Kogoj, D., Ambrožič, T., Pavlovčič Prešeren, P., Kuhar, M., Sterle, O., Kregar, K., Štebe, G., Urbančič, T., Goršič, J., Mencin, A., Berk, S., Fabiani, N., Mesner, N., Caserman, M., Bric, V., Triglav Čekada, M., Karničnik, I., Janežič, M., Oven, K. (2016). Implementacija kombinirane geodetske mreže in višinske komponente ERS v državni geodetski referenčni sistem. Končno poročilo, 3 zv., 216, 152 in 538 str. + priloge. Ljubljana (15. september 2016), Geodetski inštitut Slovenije in Univerza v Ljubljani, Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo.
- Stopar, B., Režek, J., Komadina, Ž., Medved, K., Berk, S., Bajec, K., Oven, K., Koler, B., Urbančič, T., Kuhar, M., Pavlovčič Prešeren, P., Sterle, O. (2015). Aktivnosti pri vzpostavitvi sodobnega geodetskega referenčnega sistema v Sloveniji. *Geodetska (r)evolucija*. 43. Geodetski dan, Sežana, 9.–10. april 2015. Zbornik posveta, str. 37–56. Ljubljana: Zveza geodetov Slovenije, in Nova Gorica: Primorsko geodetsko društvo.
- VMF1 Model (2018). Vienna University of Technology / Technische Universität Wien (VMF1 Troposphere Model). <http://ggosatm.hg.tuwien.ac.at/DELAY/GRID/VMFG/>, pridobljeno 1. 2. 2018.
- Vrabec, M., Pavlovčič Prešeren, P., Stopar, B. (2006). GPS Study (1996–2002) of Active Deformation along the Periadriatic Fault System in Northeastern Slovenia: Tectonic Model. *Geologica Carpathica*, 57 (1), 57–65. <http://www.geologicacarpathica.com/browse-journal/volumes/57-1/article-344/>, pridobljeno 26. 4. 2017.
- Weber, J., Vrabec, M., Pavlovčič Prešeren, P., Dixon, T., Jiang, Y., Stopar, B. (2010). GPS-Derived Motion of the Adriatic Microplate from Istria Peninsula and Po Plain Sites and Geodynamic Implications. *Tectonophysics*, 483 (3–4), 214–222. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.tecto.2009.09.001>
- Wübbena, G., Schmitz, M., Boettcher, G., Schumann, C. (2006). Absolute GNSS

Antenna Calibration with a Robot: Repeatability of Phase Variations, Calibration of GLONASS and Determination of Carrier-to-Noise Pattern. Proceedings of the IGS Workshop "The International GNSS Service (IGS): Perspectives and Visions for 2010 and beyond", Darmstadt, Nemčija, 8.–12. maj 2006, 12 str. http://www.geopp.de/media/docs/pdf/gppigs06_pabs_g.pdf, pridobljeno 27. 11. 2019.

Zupančič, M. (2016). Poročilo projekta EUREF SLO 2016. Interno poročilo, 8 str. Ljubljana (november 2016), Geodetska uprava Republike Slovenije.



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: <https://doi.org/10.15292/geodetski-vestnik.2020.01.43-67>

Sandi Berk, univ. dipl. inž. geod.

Geodetska uprava Republike Slovenije, Urad za geodezijo
Zemljemerska ulica 12, SI-1000 Ljubljana
e-naslov: sandi.berk@gov.si

doc. dr. Oskar Sterle, univ. dipl. inž. geod.

Univerza v Ljubljani, Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo
Jamova cesta 2, SI-1000 Ljubljana
e-naslov: oskar.sterle@fgg.uni-lj.si

mag. Klemen Medved, univ. dipl. inž. geod.

Geodetska uprava Republike Slovenije, Urad za geodezijo
Zemljemerska ulica 12, SI-1000 Ljubljana
e-naslov: klemen.medved@gov.si

prof. dr. Bojan Stopar, univ. dipl. inž. geod.

Univerza v Ljubljani, Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo
Jamova cesta 2, SI-1000 Ljubljana
e-naslov: bojan.stopar@fgg.uni-lj.si

DEFORMACIJSKA ANALIZA PO POSTOPKU CASPARY

DEFORMATION ANALYSIS: THE CASPARY APPROACH

Veton Hamza, Tomaž Ambrožič, Bojan Stopar

UDK: 528.23
Klasifikacija prispevka po COBISS.SI: 1.02
Prispelo: 10. 1. 2020
Sprejeto: 22. 2. 2020

DOI: 10.15292/geodetski-vestnik.2020.01.68-88
REVIEW ARTICLE
Received: 10. 1. 2020
Accepted: 22. 2. 2020

IZVLEČEK

V članku je opisan postopek Caspary, ki je eden izmed postopkov deformacijske analize. Značilnosti tega postopka so testiranje skladnosti geodetske mreže, določitev stabilnosti točk med dvema terminskima izmerama, transformacija geodetske mreže s transformacijo S , izračun premikov in grafična predstavitev vektorjev premikov. V članku je najprej podano teoretično ozadje postopka, nato je postopek uporabljen na primeru simuliranih meritev dveh terminskih izmer. Rezultati postopka Caspary na obravnavanem primeru ne odstopajo bistveno od rezultatov, dobljenih s postopki Hannover, Karlsruhe, Delft, Fredericton, München in z robustnimi metodami.

ABSTRACT

In this paper, the theoretical background of the Caspary method of geodetic deformation analysis is described and implemented in a simulated geodetic network in which two epochs of measurements are used. The Caspary approach foresees congruence testing of the geodetic network, the determination of the stable points between two analysed epochs, the transformation of the geodetic network using S -transformation, the calculation of displacements, and, in the last step, the graphical presentation of displacement vectors. Results obtained from the presented example are similar to those presented in the Hannover, Karlsruhe, Delft, Fredericton, München, and robust methods.

KLJUČNE BESEDE

postopek Caspary, geodetska mreža, deformacijska analiza, meritve, računski primer

KEY WORDS

Caspary approach, geodetic network, deformation analysis, observations, numerical example

1 INTRODUCTION

The Caspary approach was developed at the University of New South Wales in Australia by Caspary (1988). This methodology foresees to use geodetic observations that are carried out in two epochs; it also includes geological and geophysical analyses in order to have more information about the stability of the reference points (Mihailović and Aleksić, 1994). These analyses can obtain information's for the point's stability, but statistical testing does the verification of point's stability between two epochs of observations that are analysed. Caspary approach has similarities with Hannover method in defining stable points while it foresees to transform the geodetic datum by S-transformation and use as datum points only those points that have remained stable and are confirmed by statistical tests (Mihailović and Aleksić, 1994).

In general, methods that are using geodetic observations for estimating displacements contain four steps that are also implemented in the Caspary approach (Caspary, 1988; Mihailović and Aleksić, 1994):

1. Firstly, the geodetic network needs to be established, after the accuracy that needs to be achieved, and the observation plan has to be defined.
2. In the second step, the network adjustment is carried out for each epoch separately, outliers are removed, and point coordinates are calculated.
3. Points from the reference block that have been shifted between two epochs are confirmed in the third step; these points are not used as datum points in the upcoming computations.
4. In the last step, after S-transformation displacements are estimated for both object and reference points, error ellipses and displacement vectors are shown graphically.

2 THEORETICAL BACKGROUNDS

2.1 Establishment of the geodetic network and definition of the observation plan

The geometry of the geodetic network depends on the terrain configuration, type and size of the object that will be monitored and the ability of the surveyor to establish such geodetic network in certain terrain conditions that will be used after to monitor the object stability regarding the projected accuracy (Mihailović and Aleksić, 2008). Observation plan needs to be determined in such a way that it can be realized taking into account the terrain configuration. Aiming to define the geometry of the geodetic network and the observation plan, the optimisation of the first order is used while the weights of planned measurements are defined in the optimisation of the second order.

2.2 Geodetic network adjustment and outlier detection

Caspary approach is classified in the group of methods that analyse two epochs of observations, and the coordinate differences between two epochs are presented as displacements. Firstly, the accuracy of measurements should be tested; homogenous accuracy is achieved in case that the a posteriori variance is statistically equal in both of epochs, which is tested with the following hypothesis (Ambrožič, 2001; Caspary, 1988; Mihailović and Aleksić, 1994):

$$H_0 : E(\hat{\sigma}_{01}^2) = (\hat{\sigma}_{02}^2) = \sigma_0^2, \quad (1)$$

$$H_a : E(\hat{\sigma}_{01}^2) \neq (\hat{\sigma}_{02}^2) \neq \sigma_0^2. \quad (2)$$

Verification of null hypothesis is done by the following T -test that belongs to the F -distribution:

$$T = \frac{\hat{\sigma}_{01}^2}{\hat{\sigma}_{02}^2} \leq F_{1-\alpha, f_1, f_2}, \quad (3)$$

$$f_1 = n_1 - u_1 + d_1, \quad (4)$$

$$f_2 = n_2 - u_2 + d_2, \quad (5)$$

α – risk level,

f_i – redundancy number (degrees of freedom) for certain epoch,

n_i – number of observations for certain epoch,

u_i – number of unknowns for certain epoch,

d_i – datum defect for certain epoch.

In case that the null hypothesis isn't rejected, then the common variance need to be computed (Caspary, 1988; Mihailović and Aleksić, 1994):

$$s^2 = \frac{f_1 \hat{\sigma}_{01}^2 + f_2 \hat{\sigma}_{02}^2}{f_1 + f_2} = \frac{q}{f}. \quad (6)$$

The Caspary approach foresees to use inner constrained datum definition, during adjustment computation of the geodetic network; the following conditions need to be fulfilled (Kuang, 1996; Caspary, 1988):

$$\mathbf{v}_i^T \mathbf{P}_i \mathbf{v}_i = \min., \quad (7)$$

$$\mathbf{x}_i^T \mathbf{x}_i = \min. \text{ and } \hat{\mathbf{x}}_i = \mathbf{x}_{0i} + \mathbf{x}_i, \quad (8)$$

$\mathbf{v}_i$ – vector of residuals for certain epoch,

$\mathbf{P}_i$ – weight matrix for certain epoch,

$\mathbf{x}_{0i}$ – vector of approximate coordinates for certain epoch,

$\mathbf{x}_i$ – vector of parameter corrections for certain epoch,

$\hat{\mathbf{x}}_i$ – vector of adjusted coordinates for certain epoch.

The geodetic network is adjusted as free network in both epochs, the orientation unknowns (and the potential unknown of the scale factor) need to be eliminated by using the Gauss or other methods (Mihailović and Aleksić, 1994; Mihailović, 1981). Baarda's Data Snooping, Pope's Tau Method or Danish Method can be implemented to detect outliers (Caspary, 1988; Grigillo and Stopar, 2003) and the accuracy of measured angles and distances need to be harmonized before the adjustment of the geodetic network (Ambrožič, 2004).

2.3 Detection of unstable point by Caspary approach

Caspary approach has similarity with some of the other methods used in deformation analyses in the

process of determining stable points from the reference block, especially with the method of Hannover (Mihailović and Aleksić, 1994). Firstly, after adjusting the geodetic network as free network the vector Δ of adjusted coordinate differences and the pseudo inverse matrix of normal equations $\mathbf{Q}_{\Delta\Delta}^-$ are defined as follows (Caspary, 1988):

$$\Delta = \hat{\mathbf{x}}_2 - \hat{\mathbf{x}}_1, \quad (9)$$

$$\mathbf{Q}_{\Delta\Delta}^- = \mathbf{Q}_{\Delta\Delta}^+ + \mathbf{Q}_{\Delta\Delta}^- = \mathbf{B}_1^T \mathbf{P}_1 \mathbf{B}_1 + \mathbf{B}_2^T \mathbf{P}_2 \mathbf{B}_2, \quad (10)$$

$\mathbf{B}_i$ – coefficient matrix of observations for certain epoch.

The vector Δ (9) need to be decomposed in two sub vectors $\Delta^T = (\Delta_n^T \Delta_p^T)$ where Δ_n^T presents points from the reference block that will be tested for their stability and Δ_p^T presents object points that are treated as unstable points in all steps of the upcoming computations:

$$\Delta = \begin{bmatrix} \Delta_n \\ \Delta_p \end{bmatrix}. \quad (11)$$

The same logic is followed for decomposing matrix (Caspary, 1988):

$$\mathbf{Q}_{\Delta\Delta}^- = \mathbf{P} \Delta \Delta^T = \begin{bmatrix} \mathbf{P}_{nn} & \mathbf{P}_{np} \\ \mathbf{P}_{pn} & \mathbf{P}_{pp} \end{bmatrix}. \quad (12)$$

In order to define if points have been shifted between two epochs, the following hypothesis are set (Caspary, 1988):

$$H_0 : E(\hat{\mathbf{x}}_{n1}) = (\hat{\mathbf{x}}_{n2}) = \hat{\mathbf{x}}_n, \quad (13)$$

$$H_a : E(\hat{\mathbf{x}}_{n1}) \neq (\hat{\mathbf{x}}_{n2}) \neq \hat{\mathbf{x}}_n. \quad (14)$$

Not rejection of null hypothesis means that all tested points have remained stable while in the opposite case, there are some points that have changed their position between two epochs. Hypothesis defined in (13) and (14) belongs to the F -distribution, and they are verified by the following congruency test (Caspary, 1988):

$$T = \frac{(q_\Delta)_n / f_\Delta}{q / f} = \frac{(q_\Delta)_n / f_\Delta}{S^2} \sim F_{(1-d, f_\Delta, f)}, \quad (15)$$

whereas:

$$(q_\Delta)_n = \Delta_n^T \mathbf{Q}_{nn}^- \Delta_n, \quad (16)$$

$$f_\Delta = 2m - d, \quad (17)$$

m – number of points that are tested for their stability.

The matrix $\mathbf{Q}_{nn}^-$ is estimated as follows (Caspary, 1988):

$$\mathbf{Q}_{nn}^- = \mathbf{P}_{nn} - \mathbf{P}_{np} \mathbf{P}_{pp}^{-1} \mathbf{P}_{pn}. \quad (18)$$

In case that of all points of the reference network are tested, and the network is not divided into reference

block and object block then the matrix $\mathbf{Q}_{nn}^-$ (18) is equal to the matrix $\mathbf{Q}_{\Delta\Delta}^-$ (12). The value of the T -test defined by the equation (15) need to be compared with the corresponding value F of the F -distribution $F_{(1-a, f_{\Delta}, f)}$, if $T \leq F_{(1-a, f_{\Delta}, f)}$ then the null hypothesis is not rejected, in case that $T > F_{(1-a, f_{\Delta}, f)}$ the null hypothesis is rejected. Rejection of the null hypothesis means that there are reference points than have been shifted, and further analyses need to take place in order to detect unstable points.

The process of detecting the unstable points is executed iteratively. Another decomposition of the vector Δ and matrix $\mathbf{Q}_{\Delta\Delta}^-$ is performed following the same logic as in the equations (11) and (12). The sub-vector Δ_n represents all points from the reference block that are tested for stability, for which the assumption that they are stable is considered in the process of defining stable points while sub-vector Δ_p represents only one point from the reference block in each of the iterations (Caspary, 1988). The same rule is followed for the decomposition of the matrix $\mathbf{Q}_{\Delta\Delta}^-$, the $\mathbf{P}_{nn}$ block belongs to all points from the reference block while the $\mathbf{P}_{pp}$ block belongs to one point. The quadratic form $(q_{\Delta})_n$ (16) need to be decomposed in two subforms after transformation of the vector Δ that is carried out as follows (Caspary, 1988):

$$\begin{bmatrix} \bar{\Delta}_n \\ \bar{\Delta}_p \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \mathbf{I} & \mathbf{0} \\ \mathbf{P}_{pp}^{-1} \mathbf{P}_{pn} & \mathbf{I} \end{bmatrix} \Delta. \quad (19)$$

The sub-vector $\bar{\Delta}_p$ is referring to tested point and sub-vector $\bar{\Delta}_n$ is referring to all remain points from reference block, in order to define the value of $(q_{\Delta})_p$ for each point separately in all iterations, this decomposition is needed. As an unstable point will be declared the point that will have a greater value of $(q_{\Delta})_p$ in each of iterations, the value of $(q_{\Delta})_p$ is estimated by the following expression (Caspary, 1988):

$$(q_{\Delta})_p = \bar{\Delta}_p^T \mathbf{P}_{pp} \bar{\Delta}_p. \quad (20)$$

In the next iteration, the already defined unstable point will be in the same group with the object points, the decomposition of the vector Δ (11) and the matrix $\mathbf{Q}_{\Delta\Delta}^-$ (12) will continue iteratively until all the shifted points are detected. Congruency test defined in (15) is repeated until the null hypothesis (13) is not rejected, which means that remained points are stable.

2.4 Estimation of displacements

Displacements are estimated after all shifted points are detected, the vector Δ and the matrix $\mathbf{Q}_{\Delta\Delta}^-$ are partitioned, as is shown (Caspary, 1988):

$$\Delta = \begin{bmatrix} \Delta_r \\ \Delta_o \end{bmatrix}, \quad (21)$$

$$\mathbf{Q}_{\Delta\Delta}^- = \mathbf{P}_{\Delta\Delta} = \begin{bmatrix} \mathbf{P}_{rr} & \mathbf{P}_{ro} \\ \mathbf{P}_{or} & \mathbf{P}_{oo} \end{bmatrix}. \quad (22)$$

The sub-vector Δ_r represents stable points while the sub-vector Δ_o represents all shifted points; for the decomposition of $\mathbf{Q}_{\Delta\Delta}^-$ matrix the same logic is followed, coefficients from $\mathbf{P}_{rr}$ block belongs to stable points while $\mathbf{P}_{oo}$ block belongs to object points and unstable reference points. In the last transformation, points that have remained stable will define the geodetic datum. S-transformation is implemented to

transform the geodetic datum in stable points for each epoch separately in order to not carried out another adjustment. Vector Δ and matrix $\mathbf{Q}_{\Delta\Delta}$ need to be transformed into the new geodetic datum defined by stable points with the following equations (Stopar and Marjetič, 2007):

$$\Delta_{stab} = \mathbf{S}_{stab} \Delta, \quad (23)$$

$$\mathbf{Q}_{\Delta\Delta stab} = \mathbf{S}_{stab} \mathbf{Q}_{\Delta\Delta} \mathbf{S}_{stab}^T, \quad (24)$$

$$\mathbf{S}_{stab} = \mathbf{I} - \mathbf{H}(\mathbf{H}\mathbf{E}_{stab}\mathbf{H})^{-1}\mathbf{H}^T\mathbf{E}_{stab}. \quad (25)$$

In the matrix $\mathbf{E}_{stab}$ all elements are equal to null except diagonal elements of the stable points that are equal to one. $\mathbf{I}$ matrix is the identity matrix, and the $\mathbf{H}$ matrix is defined according to the datum defect of the geodetic network (Krüger, 1980). Displacements of the object points (shifted points) are estimated by the following equation (Caspary, 1988):

$$\bar{\Delta}_o = \mathbf{P}_{oo}^{-1} \mathbf{P}_{or} \Delta_r + \Delta_o. \quad (26)$$

The Caspary approach foresees to show displacements also graphically, vectors of displacements and error ellipses (confidence ellipses/deformation ellipses) with a significance level of 95% need to be estimated (Caspary, 1988). Coordinates of the first (null) epoch are defining the origin of error ellipses while coordinate differences between first and second epoch are presenting the length of displacements vectors. In case that the vector will be out of the error ellipse that point will be reconfirmed as unstable, in stable point the vector of displacement need to be inside the error ellipse. Equations that are used to estimate the error ellipses from the matrix $\mathbf{Q}_{\Delta\Delta stab} = \mathbf{Q}_{\Delta\Delta stab1} + \mathbf{Q}_{\Delta\Delta stab2}$ are define as follows (Caspary, 1988):

$$a = s\sqrt{\lambda_1 2F_{1-\alpha,2,f}}, \quad (27)$$

$$b = s\sqrt{\lambda_2 2F_{1-\alpha,2,f}}, \quad (28)$$

$$\tan 2\Theta = \frac{2q_{\dot{x}\dot{y}}}{q_{\dot{x}\dot{x}} - q_{\dot{y}\dot{y}}}, \quad (29)$$

$$\lambda_1 = \frac{1}{2}(q_{\dot{x}\dot{x}} + q_{\dot{y}\dot{y}} + z), \quad (30)$$

$$\lambda_2 = \frac{1}{2}(q_{\dot{x}\dot{x}} + q_{\dot{y}\dot{y}} - z), \quad (31)$$

$$z^2 = (q_{\dot{x}\dot{x}} - q_{\dot{y}\dot{y}})^2 + 4q_{\dot{x}\dot{y}}q_{\dot{y}\dot{x}}. \quad (32)$$

Graphic interpretation of the obtained results is the last step of the Caspary approach that is carried out after estimation of the error ellipses defined by the presented equations (27–32).

3 PRACTICAL EXAMPLE

The Caspary method was tested in simulated geodetic network consisted of 7 points, 24 horizontal directions and 24 distances. The a priori variance for the directions is $\sigma_{si} = 1''$ and the a priori variance for the distances is equal to $\sigma_{di} = 5$ mm. The plan of observations is the same in both epochs while previously the geodetic network was tested by different researchers with other methods used in deformation analyses such are:

- Hannover (Ambrožič, 2001),
- Karlsruhe (Ambrožič, 2004),
- Delft (Marjetič, Zemljak and Ambrožič, 2013),
- Fredericton (Vrečko and Ambrožič, 2013),
- München (Soldo and Ambrožič, 2018),
- Robust methods (Ambrožič et al., 2019).

Caspary approach foresees to fulfil the conditions defined in equation (7) and (8) during the adjustment of the network, regarding this the cofactor matrix of unknowns is calculated by the following expression (Krüger, 1980):

$$\mathbf{Q}_{\ddot{x}} = (\mathbf{B}^T \mathbf{P} \mathbf{B} + \mathbf{H} \mathbf{H}^T)^{-1} - \mathbf{H} \mathbf{H}^T. \quad (33)$$

The datum matrix $\mathbf{H}^T$ matrix depends on the observations that are carried out, and it is defined according to the defect of datum equal to three in both epochs. More information for datum definition can be founded in (Krüger, 1980). Adjustment computation of the geodetic network was carried out for each epoch separately, and results are presented in Table 1.

Table 1: Results from the adjustment computation.

	First epoch	Second epoch
	$i = 1$	$i = 2$
$\hat{\sigma}_{0i}^2$	0.941	1.337
n_i	48	48
u_i	14 + 7	14 + 7
d_i	3	3
f_i	30	30
s^2 ; equation (6)	1.337	
f ; equation (6)	60	

From the results presented in Table 1, it can be concluded that homogenous accuracy has been reached in both of epochs, the value of common variance s^2 was used in further calculations. The vector Δ and the matrix $\mathbf{Q}_{\Delta\Delta}^-$ were estimated regarding equations (9) and (10), respectively. Taking into account that the geodetic network is not divided into reference block and object block the matrix $\mathbf{Q}_{mm}^-$ is equal to the matrix $\mathbf{P}_{mm}$. The next step was to test points stability between two epochs regarding hypothesis defined in (13) and (14) while to check hypothesis the congruency test presented in equation (15) was used. The statistical test has shown that the null hypothesis (13) is rejected and results from this calculation are presented in Table 2.

Table 2: Results from the congruency test.

Parameter	m	f_{Δ}	$(q_{\Delta})_n$	T	$F_{(0.975,11,60)}$
Values	7	11	1772.21	141.48	1.95

The congruency test has confirmed that some points from the geodetic network have been shifted between two epochs. Results from the computations regarding the explanations from section 2.3 are summarized in Table 3 while results from the statistical congruency test (15) in each of the iterations are shown in Table 4.

Table 3: Localization of unstable points.

Point	1 st iteration	2 nd iteration	3 rd iteration	4 th iteration
	$(q_{\Delta})_p$	$(q_{\Delta})_p$	$(q_{\Delta})_p$	$(q_{\Delta})_p$
1	755.51			
2	562.59	321.26	505.70	
3	415.29	347.99	394.94	146.15
4	94.53	99.03	52.00	75.72
5	67.62	75.56	17.13	3.87
6	8.99	95.81	52.00	0.51
7	664.76	363.61		

Table 4: Results from the statistical test (15) and critical values.

Parameter	1 st iteration	2 nd iteration	3 rd iteration	4 th iteration	5 th iteration
m	7	6	5	4	3
f_{Δ}	11	9	7	5	3
T	141.48	99.20	81.93	25.89	0.36
F	1.95	2.04	2.17	2.37	2.76

From the presented results, it was concluded that point 1, 2, 3 and 7 had been shifted while point 4, 5 and 6 have remained stable. In the fifth iteration, the congruency test has confirmed that the null hypothesis (13) isn't rejected and in the following step the defined stable points have been used as datum points to carried out the S- transformations presented with equations (23), (24) and (25). Displacements are calculated after the transformation of the geodetic datum, error ellipses and displacement values through Y and X -axis are presented in Table 5 while error ellipses and displacements vectors are graphically shown in Figure 1.

Table 5: Displacements and error ellipses.

Point	Displacements		Error ellipses		
	d_y [mm]	d_x [mm]	a [mm]	b [mm]	Θ [°]
1	– 19.2	– 37.9	11.1	9.2	104
2	– 38.4	49.4	13.2	10.4	62
3	20.8	– 43.9	11.9	9.1	2
4	–	–	6.4	3.7	74
5	–	–	6.2	5.4	159
6	–	–	6.5	2.9	55
7	23.9	43.1	7.2	6.7	151

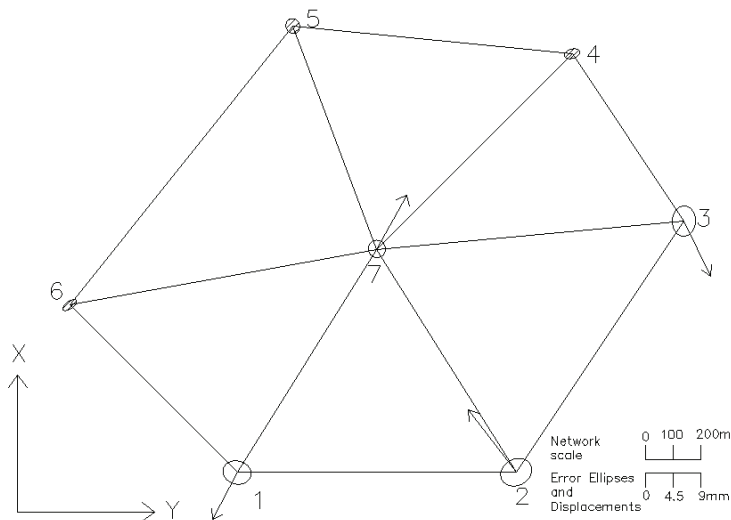


Figure 1: Error ellipses and displacements.

4 COMPARISON OF RESULTS FROM CASPARY METHOD WITH OTHER METHODS

Results from the Caspary method are compared with the results from the method of Hannover, Karlsruhe, Delft, Fredericton and München approach and presented in Table 6. Point 4, 5 and 6 are defined as stable points while point 1, 2, 3 and 7 are confirmed as unstable points in all of the methods. Slight difference in results between methods was noticed, but the estimated values of displacements are very similar to simulated displacements.

Table 6: Simulated displacements and results from deformation analyses by Hannover, Karlsruhe, Delft, Fredericton, München and Caspary approach.

Point		1	2	3	4	5	6	7
Simulated	d_y [mm]	− 20.0	− 30.0	25.0	0.0	0.0	0.0	25.0
	d_x [mm]	− 34.6	52.0	− 43.3	0.0	0.0	0.0	43.3
	d [mm]	40.0	60.0	50.0	0.0	0.0	0.0	50.0
	ν [°]	210	330	150	–	–	–	30
Hannover	d_y [mm]	− 19.6	− 38.7	20.6	− 4.0	− 6.4	3.3	23.6
	d_x [mm]	− 38.0	49.0	− 44.3	5.1	− 7.1	− 10.6	42.9
	d [mm]	42.8	62.4	48.9	6.5	10.0	11.1	49.0
	ν [°]	207	322	155	322	222	163	29
	Movement	yes	yes	yes	no	no	no	yes
Karlsruhe	d_y [mm]	− 19.7	− 38.8	20.6	–	–	–	23.6
	d_x [mm]	− 38.0	49.0	− 44.4	–	–	–	42.9
	d [mm]	42.8	62.5	48.9	–	–	–	49.0
	ν [°]	207	322	155	–	–	–	29
	Movement	yes	yes	yes	no	no	no	yes

Point		1	2	3	4	5	6	7
Delft	d_y [mm]	– 19.4	– 38.1	21.4	0.7	– 0.8	0.0	24.0
	d_x [mm]	– 37.5	49.5	– 43.5	1.0	– 2.3	1.3	42.9
	d [mm]	42.2	62.5	48.5	1.2	2.4	1.3	49.2
	ν [°]	207	322	154	35	199	0	29
	Movement	yes	yes	yes	no	no	no	yes
Fredericton	d_y [mm]	– 19.6	– 38.7	20.6	–	–	–	23.6
	d_x [mm]	– 38.0	49.0	– 44.3	–	–	–	42.9
	d [mm]	42.8	62.5	48.9	–	–	–	48.9
	ν [°]	207	322	155	–	–	–	29
	Movement	yes	yes	yes	no	no	no	yes
München	d_y [mm]	– 19.5	– 38.2	21.4	0.7	– 0.8	0.0	24.0
	d_x [mm]	– 37.6	49.5	– 43.6	1.0	– 2.2	1.4	42.9
	d [mm]	42.4	62.5	48.6	1.2	2.3	1.4	49.2
	ν [°]	207	322	154	35	200	0	29
	Movement	yes	yes	yes	no	no	no	yes
Caspary	d_y [mm]	– 19.2	– 38.4	20.8	–	–	–	23.9
	d_x [mm]	– 37.9	49.4	– 43.9	–	–	–	43.1
	d [mm]	42.5	62.5	48.6	–	–	–	49.3
	ν [°]	207	322	154	–	–	–	29
	Movement	yes	yes	yes	no	no	no	yes

5 CONCLUSION

Deformation analyses by the Caspary approach is the seventh method described and implemented in the same simulated geodetic network. This methodology is developed by W. F. Caspary, and it is presented on his monograph and in other literature (Caspary, 1988; Mihailović and Aleksić, 1994). Caspary method has many similarities with the method of Hannover, but it includes additionally geological and geophysical analysis to define which points need to be treated as conditionally stable (Mihailović and Aleksić, 1994). These points are analysed additionally for their stability by the explained methodology, moved points in the further analyses will belong in the same group with the object points.

Stable points need to define the geodetic datum in both epochs. To transform the geodetic datum of the first and second epoch into stable points was used S-transformation. After the datum transformations, coordinate differences between the second and first epoch are defining point's displacements. Caspary approach foresees to show displacements also graphically, unstable points from reference block are confirmed by error ellipses additionally while the displacement vector needs to be out of the error ellipse which origin is defined from coordinates of the first epoch.

Results presented by Caspary method have minor differences with results obtained by other methods of deformation analyses published in the previous articles of one of the authors of this article, common points are confirmed as unstable by all methods, and estimated displacements are very close to simulated displacements.

Literature and references:

- Ambrožič, T. (2001). Deformacijska analiza po postopku Hannover. *Geodetski vestnik*, 45 (1&2), 38–53. <http://www.geodetski-vestnik.com/45/gv45-12.pdf>, accessed on 10. 2. 2020.
- Ambrožič, T. (2004). Deformacijska analiza po postopku Karlsruhe. *Geodetski vestnik*, 48 (3), 315–331. http://www.geodetski-vestnik.com/56/1/gv56-1_009-026.pdf, accessed on 10. 2. 2020.
- Ambrožič, T., Mulahusić, A., Tuno, N., Topoljak, J., Hajdar, A., Kogoj, D. (2019). Deformation analysis with robust methods in geodetic nets. *Geodetski vestnik*, 63 (2), 163–178. DOI: <https://doi.org/10.15292/geodetski-vestnik.2019.02.163-178>
- Caspary, W.F. (1988). *Concepts of Network and Deformation Analysis*. Kensington: The University of New South Wales, School of Surveing, Australia.
- Grigillo, D., Stopar, B. (2003). Methods of Gross Error Detection in Geodetic Observations. *Geodetski vestnik*, 47 (4), 387–403. http://www.geodetski-vestnik.com/47/4/gv47-4_387-403.pdf, accessed on 10. 2. 2020.
- Krüger, J. (1980). Numerische Behandlung von Datums- und Konfigurationsdefekten. In H. Pelzer (Ed.), *Geodätische Netze in Landes- und Ingenieurvermessung, Vorträge des Kontaktstudiums. Hannover, Stuttgart: Konrad Wittwer.*
- Kuang, S. (1996). *Geodetic Network Analysis and Optimal Design: Concepts and Applications*. Chelsea: Ann Arbor Press, Inc.
- Marjetič, A., Stopar, B. (2007). Geodetski datum in S-transformacija. *Geodetski vestnik*, 51 (3), 549–564. http://www.geodetski-vestnik.com/51/3/gv51-3_549-564.pdf, accessed on 10. 2. 2020.
- Marjetič, A., Zemljak, M., Ambrožič, T. (2013). Deformacijska analiza po postopku Delft. *Geodetski vestnik*, 57 (3), 479–497. DOI: <https://doi.org/10.15292/geodetski-vestnik.2013.03.479-497>
- Mihailović, K. (1981). *Geodezija II*. Beograd: Građevinski fakultet Univerziteta u Beogradu.
- Mihailović, K., Aleksić, I. (1994). *Deformaciona analiza geodetskih mreža*. Beograd: Građevinski fakultet Univerziteta u Beogradu.
- Mihailović, K., Aleksić, I. R. (2008). *Koncepti mreža u geodetskom premeru*. Beograd: Privredno društvo za kartografiju Geokarta d.o.o.
- Soldo, J., Ambrožič, T. (2018). Deformacijska analiza po postopku München. *Geodetski vestnik*, 62 (3), 392–414. DOI: <https://doi.org/10.15292/geodetski-vestnik.2018.03.392-414>
- Vrečko, A., Ambrožič, T. (2013). Deformacijska analiza po postopku Fredericton. *Geodetski vestnik*, 57 (3), 479–497. DOI: <https://doi.org/10.15292/geodetski-vestnik.2013.03.479-497>

Hamza V., Ambrožič T., Stopar B. (2020). Deformation Analysis: the Caspary Approach. *Geodetski vestnik*, 64 (1), 68–88.
DOI: <https://doi.org/10.15292/geodetski-vestnik.2020.01.68-88>

DEFORMACIJSKA ANALIZA PO POSTOPKU CASPARY

OSNOVNE INFORMACIJE O ČLANKU:

GLEJ STRAN 68

1 UVOD

Postopek Caspary je razvil W. F. Caspary na Univerzi Novi južni Wales v Sydneyju v Avstraliji (Caspary, 1988). V postopku uporabimo geodetske meritve, ki jih izvedemo v dveh neodvisnih terminskih izmerah, vključuje pa tudi geološke in geofizikalne analize (Mihailović in Aleksić, 1994). S temi analizami lahko dobimo podatke o stabilnosti točk, vendar določitev stabilnih točk med dvema terminskima izmerama opravimo s statističnim testiranjem premikov točk. Postopek Caspary je podoben postopku Hannover, razlika med njima je v tem, da se pri prvem na koncu predvideva uporaba transformacije S v datum tistih referenčnih točk, ki jih s predhodno opravljenimi statističnimi testi določimo kot stabilne (Mihailović in Aleksić, 1994).

Postopke, pri katerih se za izračun premikov uporabljajo geodetske meritve, v splošnem delimo na štiri korake. Podobno lahko delimo postopek Caspary (Caspary, 1988; Mihailović in Aleksić, 1994):

1. Najprej vzpostavimo geodetsko mrežo, določimo plan izmere, po njem izvedemo izmero in dobimo meritve zahtevane natančnosti.
2. V drugem koraku lociramo in odstranimo morebitne grobe pogreške med meritvami, izvedemo izravnavo in izračunamo izravnane koordinate točk.
3. V tretjem koraku ugotovimo, katere referenčne točke so se med dvema terminskima izmerama premaknile. V nadaljnjih izračunih teh točk ne smemo uporabiti kot datumske točke.
4. V zadnjem koraku naredimo transformacijo S ter grafično prikažemo premike točk na objektu in tistih referenčnih točk, za katere smo ugotovili, da so se premaknile.

2 TEORETIČNO OZADJE

2.1 Vzpostavitev geodetske mreže in določitev plana izmere

Geometrija geodetske mreže je odvisna od konfiguracije terena ter vrste in velikosti objekta, ki ga želimo spremljati. V danih terenskih razmerah moramo za spremljanje stabilnosti objekta vzpostaviti takšno geodetsko mrežo, da bomo dosegli projektirano natančnost meritev (Mihailović in Aleksić, 2008). Plan meritev moramo sestaviti tako, da ga bo ob upoštevanju konfiguracije terena mogoče realizirati. Za določitev geometrije geodetske mreže in plana izmere uporabimo optimizacijo prvega reda, za določitev uteži načrtovanih meritev pa optimizacijo drugega reda.

2.2 Izravnava meritev in ugotovitev morebitno grobo pogrešenih meritev

Postopek Caspary je razvrščen v skupino metod, s katerimi analiziramo meritve dveh terminskih izmer. Koordinatne razlike identičnih točk med dvema terminskima izmerama predstavimo kot premike. Najprej

moramo testirati homogenost natančnosti meritev, torej če sta a-posteriori referenčni varianci $\hat{\sigma}_{0i}^2$ obeh terminskih izmer statistično enaki. Test opravimo s preizkusom ničelne H_0 hipoteze (Ambrožič, 2001; Caspary, 1988; Mihailović in Aleksić, 1994):

$$H_0 : E(\hat{\sigma}_{01}^2) = (\hat{\sigma}_{02}^2) = \sigma_0^2, \quad (1)$$

$$H_a : E(\hat{\sigma}_{01}^2) \neq (\hat{\sigma}_{02}^2) \neq \sigma_0^2. \quad (2)$$

Preverjanje ničelne hipoteze opravimo s testno statistiko T , ki se porazdeljuje po porazdelitvi F :

$$T = \frac{\hat{\sigma}_{01}^2}{\hat{\sigma}_{02}^2} \leq F_{1-\alpha, f_1, f_2}, \quad (3)$$

$$f_1 = n_1 - u_1 + d_1, \quad (4)$$

$$f_2 = n_2 - u_2 + d_2, \quad (5)$$

α – izbrana stopnja značilnosti testa,

f_i – število nadštevilnih meritev (prostostnih stopenj) v posamezni terminski izmeri,

n_i – število meritev v posamezni terminski izmeri,

u_i – število neznank v posamezni terminski izmeri,

d_i – defekt datuma (defekt ranga matrike normalnih enačb) v posamezni terminski izmeri.

Če ničelne hipoteze ne moremo zavrniti, izračunamo skupno a-posteriori referenčno varianco (Caspary, 1988; Mihailović in Aleksić, 1994):

$$s^2 = \frac{f_1 \hat{\sigma}_{01}^2 + f_2 \hat{\sigma}_{02}^2}{f_1 + f_2} = \frac{q}{f}. \quad (6)$$

Postopek Caspary predvideva, da je datum geodetske mreže določen z notranjimi vezmi, zato morajo biti v izravnavi izpolnjeni naslednji pogoji (Kuang, 1996; Caspary, 1988):

$$\mathbf{v}_i^T \mathbf{P}_i \mathbf{v}_i = \min., \quad (7)$$

$$\mathbf{x}_i^T \mathbf{x}_i = \min. \text{ in } \hat{\mathbf{x}}_i = \mathbf{x}_{0i} + \mathbf{x}_i, \quad (8)$$

$\mathbf{v}_i$ – vektor popravkov meritev v posamezni terminski izmeri,

$\mathbf{P}_i$ – matrika uteži v posamezni terminski izmeri,

$\mathbf{x}_{0i}$ – vektor približnih vrednosti koordinat v posamezni terminski izmeri,

$\mathbf{x}_i$ – vektor popravkov približnih vrednosti koordinat v posamezni terminski izmeri,

$\hat{\mathbf{x}}_i$ – vektor izravnanih koordinat v posamezni terminski izmeri.

Geodetsko mrežo v posamezni terminski izmeri izravnamo kot prosto mrežo, orientacijske neznanke (in morebitno neznanko merila mreže) moramo odstraniti z Gaußovo metodo eliminacije ali drugimi metodami (Mihailović in Aleksić, 1994; Mihailović, 1981). Za odkrivanje grobo pogrešenih meritev

lahko uporabimo Baardovo metodo Data Snooping, Popeovo metodo Tau ali dansko metodo (Caspary, 1988; Grigillo in Stopar, 2003). Pred izravnavo moramo uskladiti tudi natančnosti kotnih in dolžinskih meritev (Ambrožič, 2004).

2.3 Testiranje nestabilnih točk po postopku Caspary

Postopek Caspary je, v postopku določitve stabilnih referenčnih točk, podoben nekaterim drugim metodam deformacijske analize, še posebej postopku Hannover (Mihailović in Aleksić, 1994). Po izravnavi geodetske mreže kot proste mreže sta vektor izravnanih koordinatnih razlik Δ in psevdoinverzna matrika kofaktorjev izravnanih koordinatnih razlik $\mathbf{Q}_{\Delta\Delta}^-$ definirana kot (Caspary, 1988):

$$\Delta = \hat{\mathbf{x}}_2 - \hat{\mathbf{x}}_1, \quad (9)$$

$$\mathbf{Q}_{\Delta\Delta}^- = \mathbf{Q}_{\mathbf{x}\mathbf{x}1}^+ + \mathbf{Q}_{\mathbf{x}\mathbf{x}2}^+ = \mathbf{B}_1^T \mathbf{P}_1 \mathbf{B}_1 + \mathbf{B}_2^T \mathbf{P}_2 \mathbf{B}_2, \quad (10)$$

$\mathbf{B}_i$ – matrika koeficientov enačb popravkov meritev v posamezni terminski izmeri.

Vektor Δ (9) moramo razstaviti na podvektorja $\Delta^T = (\Delta_n^T \Delta_p^T)$. V podvektorju Δ_n^T so koordinatne razlike referenčnih točk, ki jih bomo v nadaljevanju testirali glede stabilnosti, v podvektorju Δ_p^T pa so koordinatne razlike točk na objektu, ki jih bomo v nadaljnjih korakih obravnavali kot nestabilne točke:

$$\Delta = \begin{bmatrix} \Delta_n \\ \Delta_p \end{bmatrix}. \quad (11)$$

Podobno razstavimo tudi pripadajočo matriko $\mathbf{Q}_{\Delta\Delta}^-$ (Caspary, 1988):

$$\mathbf{Q}_{\Delta\Delta}^- = \mathbf{P}_{\Delta\Delta} = \begin{bmatrix} \mathbf{P}_{nn} & \mathbf{P}_{np} \\ \mathbf{P}_{pn} & \mathbf{P}_{pp} \end{bmatrix}. \quad (12)$$

Stabilnost referenčnih točk med dvema terminskima izmerama določimo s testiranjem naslednje hipoteze (Caspary, 1988):

$$H_0 : E(\hat{\mathbf{x}}_{n1}) = (\hat{\mathbf{x}}_{n2}) = \hat{\mathbf{x}}_n, \quad (13)$$

$$H_a : E(\hat{\mathbf{x}}_{n1}) \neq (\hat{\mathbf{x}}_{n2}) \neq \hat{\mathbf{x}}_n. \quad (14)$$

Če ničelne hipoteze ne moremo zavrniti, pomeni, da so vse v testiranje vključene referenčne točke v dveh terminskih izmerah ostale stabilne, v nasprotnem primeru je med dvema terminskima izmerama nekaj referenčnih točk spremenilo svoje koordinate. Testiranje ničelne hipoteze (13) opravimo s testno statistiko T , ki se porazdeljuje po porazdelitvi F (Caspary, 1988):

$$T = \frac{(q_{\Delta})_n / f_{\Delta}}{q / f} = \frac{(q_{\Delta})_n / f_{\Delta}}{S^2} \sim F_{(1-a, f_{\Delta}, f)}, \quad (15)$$

kjer je:

$$(q_{\Delta})_n = \Delta_n^T \mathbf{Q}_{nn}^- \Delta_n, \quad (16)$$

$$f_{\Delta} = 2m - d, \quad (17)$$

m – število referenčnih točk, ki so vključene v testiranje.

Matriko $\mathbf{Q}_{nn}^-$ izračunamo z naslednjo enačbo (Caspary, 1988):

$$\mathbf{Q}_{nn}^- = \mathbf{P}_{nn} - \mathbf{P}_{np} \mathbf{P}_{pp}^{-1} \mathbf{P}_{pn}. \quad (18)$$

Če točke geodetske mreže niso razdeljene na referenčne točke in točke na objektu, torej obravnavamo vse točke mreže kot referenčne, potem je matrika $\mathbf{Q}_{nn}^-$ (18) enaka matriki $\mathbf{Q}_{\Delta\Delta}^-$ (12). Vrednost testne statistike T izračunano z enačbo (15), primerjamo z ustrežno kritično vrednostjo $F_{(1-a, f_{\Delta}, f)}$. Če je $T \leq F_{(1-a, f_{\Delta}, f)}$, potem ničelne hipoteze ne moremo zavrniti, če je $T > F_{(1-a, f_{\Delta}, f)}$, pa ničelno hipotezo zavrnemo. Zavrnitev ničelne hipoteze pomeni, da imamo med referenčnimi točkami tudi točke, ki so se dvema terminskima izmerama premaknile. Tako moramo opraviti dodatne analize, da odkrijemo nestabilne referenčne točke.

Postopek določitve nestabilnih referenčnih točk izvedemo iterativno. Razstavljanje vektorja Δ in matrike $\mathbf{Q}_{\Delta\Delta}^-$ naredimo podobno, kot smo zapisali v enačbah (11) in (12). V posamezni iteraciji so v podvektorju Δ_n koordinatne razlike vseh referenčnih točk razen ene, za katere smo predpostavili, da so stabilne in jih bomo v nadaljevanju testirali, ali so res stabilne. V podvektorju Δ_p sta le koordinatni razliki (za 2D-mrežo) samo ene referenčne točke (tiste, ki je nismo vključili v podvektor Δ_n) (Caspary, 1988). Pripadajočo matriko $\mathbf{Q}_{\Delta\Delta}^-$ razstavimo podobno: podmatrika $\mathbf{P}_{nn}$ vsebuje elemente vseh referenčnih točk razen ene, podmatrika $\mathbf{P}_{pp}$ pa elemente le ene točke (tiste, ki je ni v podmatriki $\mathbf{P}_{nn}$). Kvadratno formo $(q_{\Delta})_n$, enačba (16), lahko razstavimo na dva dela. To naredimo po transformaciji vektorja Δ na podvektorja naslednje oblike (Caspary, 1988):

$$\begin{bmatrix} \bar{\Delta}_n \\ \bar{\Delta}_p \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \mathbf{I} & \mathbf{0} \\ \mathbf{P}_{pp}^{-1} \mathbf{P}_{pn} & \mathbf{I} \end{bmatrix} \Delta. \quad (19)$$

Podvektor $\bar{\Delta}_p$ se nanaša na točko, ki jo testiramo, podvektor $\bar{\Delta}_n$ pa se nanaša na vse preostale referenčne točke. Razstavljanje vektorja Δ in matrike $\mathbf{Q}_{\Delta\Delta}^-$ ter izračun $(q_{\Delta})_p$ naredimo za vsako točko posebej. Iteracij je toliko, kolikor imamo referenčnih točk, za katere smo predpostavili, da so stabilne. Kot nestabilno točko določimo točko, za katero izračunamo po vsaki iteraciji največjo vrednost $(q_{\Delta})_p$ (Caspary, 1988):

$$(q_{\Delta})_p = \bar{\Delta}_p^T \mathbf{P}_{pp}^{-1} \bar{\Delta}_p. \quad (20)$$

V naslednji iteraciji prej določeno nestabilno referenčno točko prestavimo v skupino točk na objektu. Razstavljanje vektorja Δ (11) in matrike $\mathbf{Q}_{\Delta\Delta}^-$ (12) nadaljujemo iterativno, dokler ne odkrijemo vseh nestabilnih referenčnih točk. Testno statistiko, določeno v (15), ponavljamo tolikokrat, dokler ničelne hipoteze (13) ne moremo zavrniti, kar pomeni, da so vse preostale referenčne točke stabilne.

2.4 Izračun premikov

Ko odkrijemo vse točke, ki niso stabilne, izračunamo premike točk tako, da vektor Δ in pripadajočo matriko $\mathbf{Q}_{\Delta\Delta}^-$ razstavimo na (Caspary, 1988):

$$\Delta = \begin{bmatrix} \Delta_r \\ \Delta_o \end{bmatrix}, \quad (21)$$

$$\mathbf{Q}_{\Delta\Delta}^- = \mathbf{P}_{\Delta\Delta} = \begin{bmatrix} \mathbf{P}_{rr} & \mathbf{P}_{ro} \\ \mathbf{P}_{or} & \mathbf{P}_{oo} \end{bmatrix}. \quad (22)$$

V podvektorju Δ_r so koordinatne razlike stabilnih točk, medtem ko so v podvektorju Δ_o koordinatne razlike točk, ki so se premaknile. Za razstavitev matrike $\mathbf{Q}_{\Delta\Delta}$ velja podobno: elementi podmatrike $\mathbf{P}_{rr}$ se nanašajo na stabilne točke, medtem ko se elementi podmatrike $\mathbf{P}_{oo}$ nanašajo na točke, ki so se premaknile, torej gre za točke na objektu in nestabilne referenčne točke. V zadnji transformaciji, ki jo izvedemo, bodo točke, ki so stabilne, določale nov datum geodetske mreže. Za transformacijo geodetske mreže uporabimo transformacijo $\mathbf{S}$ za vsako terminsko izmero posebej, datum transformirane mreže je določen s stabilnimi točkami. Vektor Δ in matriko $\mathbf{Q}_{\Delta\Delta}$ transformiramo v nov geodetski datum stabilnih točk z naslednjimi enačbami (Stopar in Marjetič, 2007):

$$\Delta_{stab} = \mathbf{S}_{stab} \Delta, \quad (23)$$

$$\mathbf{Q}_{\Delta\Delta stab} = \mathbf{S}_{stab} \mathbf{Q}_{\Delta\Delta} \mathbf{S}_{stab}^T, \quad (24)$$

$$\mathbf{S}_{stab} = \mathbf{I} - \mathbf{H}(\mathbf{H}\mathbf{E}_{stab} \mathbf{H})^{-1} \mathbf{H}^T \mathbf{E}_{stab}. \quad (25)$$

V matriki $\mathbf{E}_{stab}$ so vsi elementi enaki nič, le diagonalni elementi imajo vrednosti enake ena na mestih, ki pripadajo koordinatni komponenti stabilne referenčne točke. Matrika $\mathbf{I}$ je enotska matrika, matrika $\mathbf{H}$ je matrika geodetskega datuma, določenega z notranjimi vezmi (Krüger, 1980). Premike točk na objektu in nestabilnih referenčnih točk izračunamo z naslednjo enačbo (Caspary, 1988):

$$\bar{\Delta}_o = \mathbf{P}_{oo}^{-1} \mathbf{P}_{or} \Delta_r + \Delta_o. \quad (26)$$

Postopek Caspary predvideva tudi grafično predstavitev vektorjev premikov in elips zaupanja. Elipse zaupanja koordinat točk so določene s stopnjo zaupanja 95 % (Caspary, 1988). V grafični predstavitvi določajo koordinate točk prve (ničelne) terminske izmere središča elips zaupanja, razlike koordinat med terminskima izmerama pa določajo dolžino vektorjev premikov točk. Če se konec vektorja premika nahaja izven elipse zaupanja, lahko ponovno potrdimo, da se je točka premaknila, če je konec vektorja premika znotraj elipse zaupanja, pa lahko trdimo, da se točka ni premaknila. Iz elementov matrike $\mathbf{Q}_{\Delta\Delta stab} = \mathbf{Q}_{\Delta\Delta stab1} + \mathbf{Q}_{\Delta\Delta stab2}$ izračunamo elemente elips zaupanja na naslednji način (Caspary, 1988):

$$a = s\sqrt{\lambda_1 2F_{1-\alpha, 2, f}}, \quad (27)$$

$$b = s\sqrt{\lambda_2 2F_{1-\alpha, 2, f}}, \quad (28)$$

$$\tan 2\Theta = \frac{2q_{xy}}{q_{xx} - q_{yy}}, \quad (29)$$

$$\lambda_1 = \frac{1}{2}(q_{xx} + q_{yy} + z), \quad (30)$$

$$\lambda_2 = \frac{1}{2}(q_{xx} + q_{yy} - z), \quad (31)$$

$$z^2 = (q_{xx} - q_{yy})^2 + 4q_{xy}^2. \quad (32)$$

Grafična predstavitev dobljenih rezultatov je zadnji korak pristopa Caspary in jo izvedemo po izračunu elementov elips zaupanja, predstavljenih z enačbami od (27) do (32).

3 RAČUNSKI PRIMER

Uporabnost postopka Caspary želimo testirati na simulirani geodetski mreži, sestavljeni iz 7 točk ter merjenih 24 horizontalnih smeri in 24 dolžin. Za vrednost a-priori variance za smeri izberemo $\sigma_{si} = 1''$, za vrednost a-priori variance za dolžine pa $\sigma_{di} = 5 \text{ mm}$. Za obe terminski izmeri je plan meritev enak. Isto geodetsko mrežo so uporabili tudi drugi raziskovalci, ko so testirali druge postopke deformacijske analize:

- Hannover (Ambrožič, 2001),
- Karlsruhe (Ambrožič, 2004),
- Delft (Marjetič, Zemljak in Ambrožič, 2013),
- Fredericton (Vrečko in Ambrožič, 2013),
- München (Soldo in Ambrožič, 2018),
- robustne metode (Ambrožič et al., 2019).

Postopek Caspary predvideva, da so v izravnavi mreže izpolnjeni pogoji, določeni v enačbah (7) in (8). Matriko kofaktorjev neznank izračunamo z naslednjim izrazom (Krüger, 1980):

$$\mathbf{Q}_{\hat{\mathbf{x}}\hat{\mathbf{x}}} = (\mathbf{B}^T \mathbf{P} \mathbf{B} + \mathbf{H} \mathbf{H}^T)^{-1} - \mathbf{H} \mathbf{H}^T. \tag{33}$$

Datumska matrika $\mathbf{H}^T$ je odvisna od vrste izvedenih meritev v geodetski mreži in je določena glede na defekt datuma geodetske mreže, ki je v našem primeru v obeh terminskih izmerah enak tri (Krüger, 1980). Vsako terminsko izmero smo izravnali, rezultate prikazujemo v preglednici 1.

Preglednica 1: Rezultati izravnave.

	Prva terminska izmera	Druga terminska izmera
	$i = 1$	$i = 2$
$\hat{\sigma}_{0i}^2$	0,941	1,337
n_i	48	48
u_i	14 + 7	14 + 7
d_i	3	3
f_i	30	30
s^2 ; enačba (6)	1,337	
f ; enačba (6)	60	

Iz rezultatov, predstavljenih v preglednici 1, ugotovimo, da smo dosegli homogeno natančnost meritev v obeh terminskih izmerah. Vrednost skupne a-posteriori referenčne variance s^2 uporabimo v nadaljnjih izračunih. Vektor Δ in matriko $\mathbf{Q}_{\Delta\Delta}^-$ izračunamo po enačbah (9) in (10). Ker geodetske mreže nismo razdelili na referenčne točke in točke na objektu, sta matriki $\mathbf{Q}_{mm}^-$ in $\mathbf{P}_{mm}$ enaki. V naslednjem koraku testiramo stabilnost točk med dvema terminskima izmerama z ničelno hipotezo (13). Izračunamo vrednost testne statistike po enačbi (15) in ugotovimo, da moramo ničelno hipotezo (13) zavrniti. Rezultate tega izračuna predstavljamo v preglednici 2.

Preglednica 2: Rezultati testiranja skladnosti.

Parameter	m	f_{Δ}	$(q_{\Delta})_n$	T	$F_{(0,975;11,60)}$
Vrednost	7	11	1772,21	141,48	1,95

Test skladnosti je potrdil, da so se nekatere točke geodetske mreže med dvema terminskima izmerama premaknile. Zato postopek nadaljujemo z izračuni, opisanimi v podpoglavju 2.3. Rezultate teh izračunov prikazujemo v preglednici 3, rezultate testne statistike (15) in kritične vrednosti po vsaki iteraciji pa v preglednici 4.

Preglednica 3: Določitev nestabilnih referenčnih točk.

Točka	1. iteracija	2. iteracija	3. iteracija	4. iteracija
	$(q_{\Delta})_p$	$(q_{\Delta})_p$	$(q_{\Delta})_p$	$(q_{\Delta})_p$
1	755,51			
2	562,59	321,26	505,70	
3	415,29	347,99	394,94	146,15
4	94,53	99,03	52,00	75,72
5	67,62	75,56	17,13	3,87
6	8,99	95,81	52,00	0,51
7	664,76	363,61		

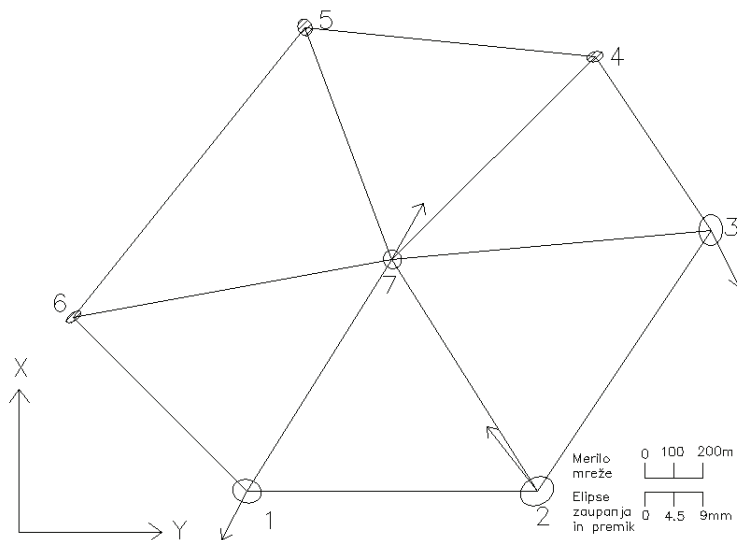
Preglednica 4: Rezultati testne statistike (15) in kritične vrednosti.

Parameter	1. iteracija	2. iteracija	3. iteracija	4. iteracija	5. iteracija
m	7	6	5	4	3
f_{Δ}	11	9	7	5	3
T	141,48	99,20	81,93	25,89	0,36
F	1,95	2,04	2,17	2,37	2,76

Iz predstavljenih rezultatov sklepamo, da so se točke 1, 2, 3 in 7 premaknile, točke 4, 5 in 6 pa so stabilne. V peti iteraciji ugotovimo, da s testom skladnosti ne moremo zavrniti ničelne hipoteze (13). V naslednjem koraku potrjeno stabilne točke uporabimo kot točke, ki definirajo datum mreže v transformaciji S, ki je predstavljena z enačbami (23), (24) in (25). Po transformaciji S, s katero v obeh terminskih izmerah zagotovimo identični datum geodetske mreže, izračunamo premike točk in elemente elips zaupanja, ki jih prikazujemo v preglednici 5. Elipse zaupanja in ugotovljene vektorje premikov grafično prikazujemo na sliki 1.

Preglednica 5: Premiki in elementi elips zaupanja.

Točka	Premiki		Elipse zaupanja		
	d_y [mm]	d_x [mm]	a [mm]	b [mm]	Θ [°]
1	– 19,2	– 37,9	11,1	9,2	104
2	– 38,4	49,4	13,2	10,4	62
3	20,8	– 43,9	11,9	9,1	2
4	–	–	6,4	3,7	74
5	–	–	6,2	5,4	159
6	–	–	6,5	2,9	55
7	23,9	43,1	7,2	6,7	151



Slika 1: Elipse zaupanja in premiki točk.

4 PRIMERJAVA Z REZULTATI DRUGIH POSTOPKOV

Primerjavo rezultatov postopka Caspary in rezultatov postopkov Hannover, Karlsruhe, Delft, Fredericton in München predstavljamo v preglednici 6. Z uporabo vseh postopkov trdimo, da so točke 4, 5 in 6 stabilne, točke 1, 2, 3 in 7 pa nestabilne. Opazimo lahko le majhno razliko v rezultatih izračunanih premikov, vendar so izračunane vrednosti premikov zelo podobne simuliranim premikom.

Preglednica 6: Simulirani premiki točk mreže in rezultati deformacijske analize po postopkih Hannover, Karlsruhe, Delft, Fredericton, München in Caspary.

Točka		1	2	3	4	5	6	7
Simulirano	d_y [mm]	– 20,0	– 30,0	25,0	0,0	0,0	0,0	25,0
	d_x [mm]	– 34,6	52,0	– 43,3	0,0	0,0	0,0	43,3
	d [mm]	40,0	60,0	50,0	0,0	0,0	0,0	50,0
	ν [°]	210	330	150	–	–	–	30
Hannover	d_y [mm]	– 19,6	– 38,7	20,6	– 4,0	– 6,4	3,3	23,6
	d_x [mm]	– 38,0	49,0	– 44,3	5,1	– 7,1	– 10,6	42,9
	d [mm]	42,8	62,4	48,9	6,5	10,0	11,1	49,0
	ν [°]	207	322	155	322	222	163	29
	Premik	da	da	da	ne	ne	ne	da
Karlsruhe	d_y [mm]	– 19,7	– 38,8	20,6	–	–	–	23,6
	d_x [mm]	– 38,0	49,0	– 44,4	–	–	–	42,9
	d [mm]	42,8	62,5	48,9	–	–	–	49,0
	ν [°]	207	322	155	–	–	–	29
	Premik	da	da	da	ne	ne	ne	da

Točka		1	2	3	4	5	6	7
Delft	d_y [mm]	– 19,4	– 38,1	21,4	0,7	– 0,8	0,0	24,0
	d_x [mm]	– 37,5	49,5	– 43,5	1,0	– 2,3	1,3	42,9
	d [mm]	42,2	62,5	48,5	1,2	2,4	1,3	49,2
	ν [°]	207	322	154	35	199	0	29
	Premik	da	da	da	ne	ne	ne	da
Fredericton	d_y [mm]	– 19,6	– 38,7	20,6	–	–	–	23,6
	d_x [mm]	– 38,0	49,0	– 44,3	–	–	–	42,9
	d [mm]	42,8	62,5	48,9	–	–	–	48,9
	ν [°]	207	322	155	–	–	–	29
	Premik	da	da	da	ne	ne	ne	da
München	d_y [mm]	– 19,5	– 38,2	21,4	0,7	– 0,8	0,0	24,0
	d_x [mm]	– 37,6	49,5	– 43,6	1,0	– 2,2	1,4	42,9
	d [mm]	42,4	62,5	48,6	1,2	2,3	1,4	49,2
	ν [°]	207	322	154	35	200	0	29
	Premik	da	da	da	ne	ne	ne	da
Caspary	d_y [mm]	– 19,2	– 38,4	20,8	–	–	–	23,9
	d_x [mm]	– 37,9	49,4	– 43,9	–	–	–	43,1
	d [mm]	42,5	62,5	48,6	–	–	–	49,2
	ν [°]	207	322	154	–	–	–	9
	Premik	da	da	da	ne	ne	ne	da

5 SKLEP

Deformacijska analiza po postopku Caspary je sedma opisana metoda, izvedena na isti simulirani geodetski mreži. Postopek je razvil W. F. Caspary, predstavil ga je v monografiji (Caspary, 1988), obravnavali pa so ga tudi drugi avtorji (Mihailović in Aleksić, 1994). Postopek Caspary je delno podoben postopku Hannover, vključuje pa dodatne geološke in geofizikalne analize, ki jih uporabimo za odločitev, katere referenčne točke lahko obravnavamo kot pogojno stabilne (Mihailović in Aleksić, 1994). Stabilnost teh točk dodatno analiziramo s predstavljeno metodologijo. Referenčne točke, za katere smo ugotovili, da niso stabilne, pa v nadaljnjih analizah obravnavamo kot točke na objektu.

Stabilne referenčne točke morajo določati geodetski datum v obeh terminskih izmerah. Za transformacijo geodetske mreže prve in druge terminske izmere v datum stabilnih referenčnih točk uporabimo transformacijo S. Po transformaciji mreže prve in druge terminske izmere v geodetski datum stabilnih referenčnih točk izračunamo koordinatne razlike točk med drugo in prvo terminsko izmero. Postopek Caspary predvideva grafično predstavitev vektorjev premikov in elips zaupanja. Vektor premika nestabilnih referenčnih točk, katerega začetek določajo koordinate točke iz prve terminske izmere in ima konec izven elipse zaupanja, potrdi, da se je referenčna točka premaknila.

Rezultati, ki jih dobimo s postopkom Caspary, se le malo razlikujejo od rezultatov, ki jih dobimo z drugimi postopki deformacijske analize in so objavljeni v predhodnih člankih enega od avtorjev tega članka. Z vsemi pristopi deformacijske analize smo potrdili iste nestabilne točke, izračunani premiki pa so zelo podobni simuliranim premikom.

Literatura in viri:

Glej literaturo na strani 78.



Hamza V., Ambrožič T., Stopar B. (2020). Deformacijska analiza po postopku Caspary. Deformation Analysis: the Caspary Approach
Geodetski vestnik, 64 (1), 68-88.

DOI: <https://doi.org/10.15292/geodetski-vestnik.2020.01.68-88>

Veton Hamza, mag. inž. geod. in geoinf.

Univerza v Ljubljani, Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo
Jamova cesta 2, SI-1000 Ljubljana
e-naslov: veton.hamza@fgg.uni-lj.si

prof. dr. Bojan Stopar, univ. dipl. inž. geod.

Univerza v Ljubljani, Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo
Jamova cesta 2, SI-1000 Ljubljana
e-naslov: bojan.stopar@fgg.uni-lj.si

**izr. prof. dr. Tomaž Ambrožič, univ. dipl. inž. geod.,
univ. dipl. inž. rud.**

Univerza v Ljubljani, Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo
Jamova cesta 2, SI-1000 Ljubljana
e-naslov: tomaz.ambrozic@fgg.uni-lj.si

3D-LASERSKO SKENIRANJE NARAVNIH JAM: PRIMER ŠKOCJANSKIH JAM

3D LASER SCANNING OF THE NATURAL CAVES: EXAMPLE OF ŠKOCJANSKE JAME

Richard Walters, Nadja Zupan Hajna

UDK: 528.023:528.484
Klasifikacija prispevka po COBISS.SI: 1.04
Prispelo: 29. 1. 2020
Sprejeto: 12. 3. 2020

DOI: 10.15292/geodetski-vestnik.2020.01.89-103
PROFESSIONAL ARTICLE
Received: 29. 1. 2020
Accepted: 12. 3. 2020

IZVLEČEK

V članku predstavljamo problematiko terestričnega laserskega skeniranja velikih naravnih jam na primeru Škocjanskih jam, ki so del Unescove svetovne dediščine. Glede na obstoječe podatke tahimetrične izmere jamskih rogov in iz njih izračunanih prostornin je bilo skeniranje tako velike jame velik izziv za ekipo. Jama s skoraj 6 kilometrov dolgimi rovi z dimenzijami približno 30 x 40 metrov in maksimalno višino do 145 metrov je bila skenirana s 370 stojišč. Postopek vključuje postavitve stojišč, prekrivanje skeniranja po progresivni poti in, ko so posnetki na površju, njihovo zbiranje, čiščenje in združevanje v 3D-model. Pridobljenih je bilo 8,3 milijarde točk in 2600 fotografij z visoko ločljivostjo. Za registracijo oblaka točk je bil uporabljen Reigl program RiSCAN Pro, nato je bil oblak točk izvožen v 3D Hexagon Reshaper in izdelan je bil ploskovni 3D-model, iz katerega je bilo mogoče opraviti vse meritve in izračune. Za dodaten vir podatkov smo uporabili zajem podatkov s kamero brezpilotnega letalnika. S fotogrametrijo smo naredili digitalni model površja ter ga nato v 3D Reshaperju povezali z modelom jame. Podatki visoke ločljivosti modela točkovnega oblaka se lahko uporabljajo v različne namene, kot so izračun prostornine, odkrivanje geoloških in speleogenetskih oblik itd. Trenutno je Martelova dvorana s prostornino 2,55 milijona kubičnih metrov potrjena kot 11. največja jamska dvorana na svetu.

KLJUČNE BESEDE

terestrično lasersko skeniranje, oblak točk, velike jame, prostornina, Slovenija

ABSTRACT

In this article, we present issues arising from Terrestrial Laser Scanning of large natural caves using the example of Škocjan Caves, a UNESCO World Heritage Site. Regarding pre-existing tachymetric survey of the passages and volumes calculated from them, the scanning of such a large cave was an even bigger challenge for the team. The cave of almost 6 km long passages with dimensions approx. 30 m x 40 m and max. heights up to 145 m, was scanned from 370 stations. Process of surveying the cave, involves establishing scanner positions through the cave, where scans will overlap, in a progressive route and once back on the surface, collecting, cleaning and stitching the scans into a point cloud 3d Model. 3D model. A total of 8.3 billion points were captured and 2,600 high-resolution photos taken. With Reigl's RiSCAN Pro software, a point cloud model was registered and then exported to Hexagon's 3D Reshaper to create a full surface model from which all measurements and calculations were made. Additionally, data acquisition using a camera on an unmanned airborne vehicle was used. By photogrammetric approach, digital terrain model of a surface was built and then tied to the cave model within 3D Reshaper. The resulting high resolution - point cloud model may be used for various purposes such as: volume calculations, detection of geological and speleogenetical features, etc. With a volume of 2.55 million cubic metres, Martel's Chamber is confirmed to be the 11th largest cave chamber in the world at the moment.

KEY WORDS

Terrestrial Laser Scanning, point cloud, large caves, volume, Slovenia

1 INTRODUCTION

A project of 3D laser scanning of the cave was carried out by the Karst Research Institute of the ZRC SAZU and the Škocjan Caves Park together with the members of the British Cave Association (BCA) in 2018 and 2019. Cave Škocjanske jame (Škocjan Caves, UNESCO World Heritage and RAMSAR) is 5.8 km long cave near Divača village (Classical Karst, SW Slovenia; Fig. 1). The river Reka sinks into Škocjanske jame at an altitude of 314 m a.s.l. The underground channel is after a few hundred metres interrupted by two large collapse dolines Velika and Mala dolina. Cave then continues with 2.6 km long channel to the Martelova dvorana (Martel's Chamber) at 214 m a.s.l. with an anticipated volume of $2.2 \times 10^6 \text{ m}^3$ (Drole, 1997). To obtain the volume of that chamber was a major objective and challenge for our team.

Over the last years, a few BCA members were aiming to scan the world's largest cave chambers in 3D using modern LiDAR scanning technology. A project to measure the 10 largest cave chambers of the world started in 2013 (Walters, 2016). They measured the biggest chambers of the caves in China (Miao Room, Cloud Ladder Hall, Hong Meigui, Funnel of Light), Malaysia (Sarawak Chamber, Api Chamber), Mexico (La Muneca Fea), Iran (Ghar-e-Dosar), Oman (Majlis al Jinn), France (Salle de La Verna), Spain (GEV Chamber), USA (The Big Room), Belize (Belize Chamber) and others. They presented their measurements at several conferences and 3D movie about Miao Room on the National Geographic channel (<https://www.nationalgeographic.com/china-caves/supercaves/>). The largest chamber volume of the world proved to be Miao Room, and it is 10.59 million m^3 , the second is Sarawak Chamber with 9.81 million m^3 , the largest in Europe is Salle de La Verna with 3.65 million m^3 and stands as 9th of the world (Walters, 2017). While the volumetric data that could be obtained from LiDAR surveys is incredibly accurate, it was felt that quoting volumetric metrics to 2 decimals (*i.e.* $0.01 \times 10^6 \text{ m}^3$) reflected the issue that chamber boundaries are difficult to define consistently, there are issues in defining the exact boundaries of the cave chambers; therefore we have restricted quoting volume metrics to 2 decimal places (*ie.* $0.01 \times 10^6 \text{ m}^3$).

The volume of Martelova dvorana was not team's only goal; we also wanted to get the 3D model of the whole cave to compare with the Institute's tachymetric survey in 1991–2002 and compare the new results with Institute cave map from 2015 (Drole, 2015). 3D point cloud would also be useful to detect geological structures, speleogenetic features and for its use to interpret speleogenesis of the cave. Additionally, a 3D model would be useful in the monitoring of all changes in the cave and also for tourist interpretations.

2 CAVE MAPS OF ŠKOCJANSKE JAME

The first map of the caves was drawn by Anton Hanke during the measurements in 1885. In 1913 Anton Meeraus published a map with all the previous measurements which was used until the tachymetric survey of the Karst Research Institute ZRC SAZU. The survey was carried out from the beginning of the 1990s to the year 2002 (Mihevc, 1994, 1995, 1998; Drole, 1997). Subsequently, various individual measurements of smaller passages were added by several caving teams. Notwithstanding the quality of Hanke's original survey conducted with the technology of the time, some errors in Hanke's measurements were discovered. After Hanke's measurements, the altitude of Martelovo jezero (Martel's Lake) was 175 m (Boegan, 1938), while the new measured value was 214 m. The second, even more important error,

was shown at the layout of the cave: the end of the cave (Martelovo jezero) actually lies 350 m northeast of the Hanke's ground plan (Mihevc, 1998). These errors in Hanke's map and later copied maps are important because all previous interpretations of speleogenesis and of the flow of underground river were based on them. The newest map was done for the purpose of monitoring the caves in 2015 (Fig. 1); additionally, the Škocjan Caves Park with the Institute completed and digitized map's different layers.

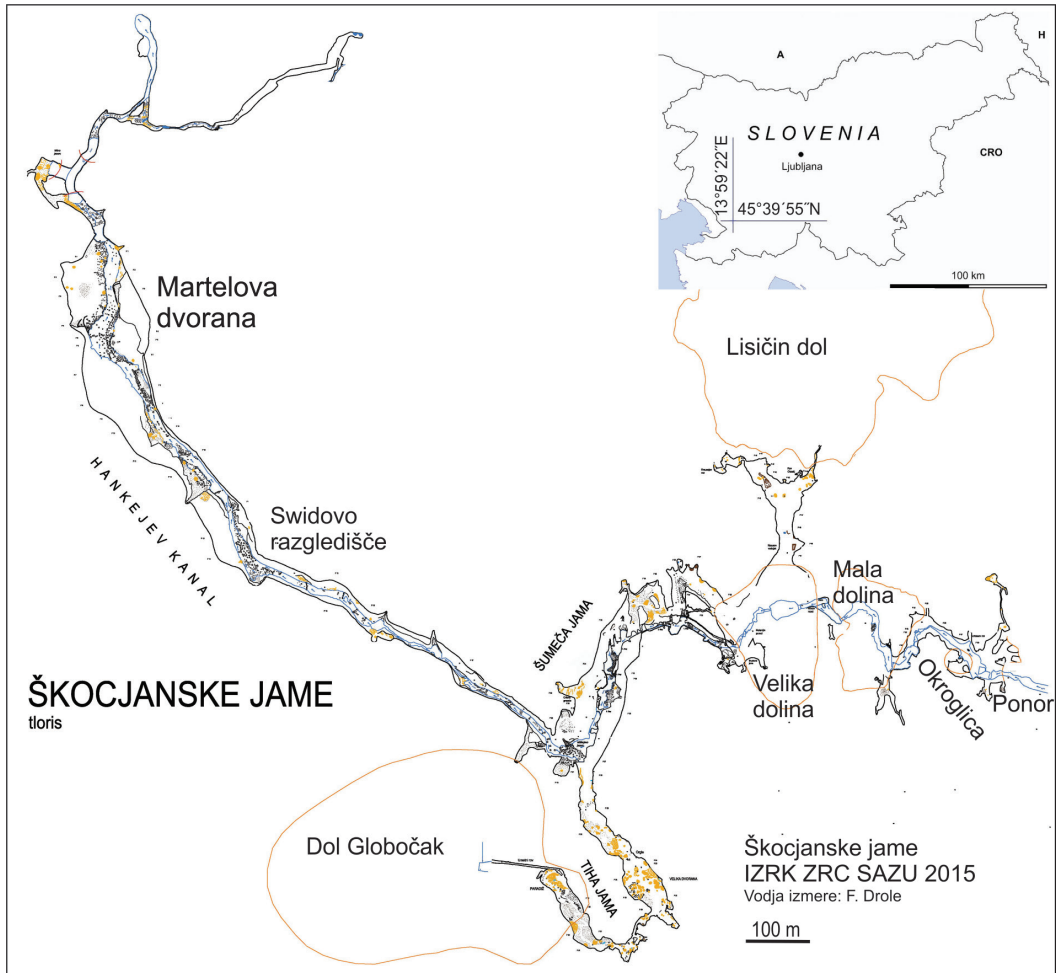


Figure 1: Cave map of Škocjanske jame (Drole, 2015; Karst Research Institute ZRC SAZU archive) with its location in Slovenia and position of Martelova dvorana.

The Institute also conducted several cross-sections of the cave passages using laser range finders, and the volume of the cave and its individual parts was estimated (Drole, 1997). After the measurements and calculations, the volume of the Martelova dvorana was about 2 million m³, with length 308 m (Mihevc, 1994; Drole, 1997), width 123 m and maximum height 146 m (average 106 m). In the main caves, Novakovič et al. (2014) scanned Velika dvorana (Great Hall, Part of Tiha jama); they measured its highest point (30.82 m) and determined its average height (16.26 m).

3 METHODS

3.1 Terrestrial Laser Scanning (TLS)

Terrestrial Laser Scanning (TLS) was performed in a cave with a length of 5.8 km and passages' dimensions approx. 30 m x 40 m, and up to 80 m or even to 145 m high underground canyon with a flowing river in its bottom.

The Riegl VZ-400 laser scanner (Fig. 2) uses a near-infrared frequency of 1550 nm. It was chosen because it is a very robust 3D terrestrial laser scanner, which can reach 400 m and the can make measurements to within 5 mm at 100 m. It takes up to 300,000 measurements/sec with a recording width a vertical scan range of 100° and a horizontal scan range of 360°.



Figure 2: Cave was scanned by terrestrial laser scanner a.) Riegl VZ-400 during scanning (Photo F. Drole); b.) setup of the scanner at the station in the cave.

A sturdy 'survey-grade tripod' is required to ensure that vibrations eliminated as far as possible as this leads to errors in the scan data. Scans from platforms and bridges were avoided for this reason. For scanner setup, a Suunto compass was used to align the orientation of the scanner and a spirit level to ensure reasonable horizontal positioning, both helpful to facilitate scan alignment during the initial processing of data as it ensures that each scan is presented to the operator in the same orientation. Above ground, GNSS (Global Navigation Satellite System) is used to orientate the scanner instead, so these tools become optional. For scanning river channels, additional equipment such as haul bags, safety ropes and dry bags is necessary.

The LiDAR RiScan Pro scan processing software (Ullrich, 2017) was employed for the initial point cloud. The key feature of this software is its ability to perform multi-station-adjustment, MSA (Kennedy, 2013). Initial point cloud models were prepared in .LAS format.

Following initial data processing, the LAS point clouds were imported into Hexagon 3-D Reshaper software (Landriven, 2017). This permitted the development of surface models, which could be used for measurements, dissections and analyses. Final mesh models were prepared in STL formats so they could be analysed and processed by a wide range of software.

3.2 Photogrammetry

To ascertain the relationship of the cave to surface features, we used an unmanned airborne vehicle (UAV) or drone. Unfortunately, regarding the Cave Protection Act (Official Gazette of the Republic of Slovenia 2/2004), the team was not allowed to fly drone underground. A survey of the surface was performed both by LiDAR and drone throughout the collapse dolines (Velika and Mala dolina). The drone used was a DJI Phantom III drone with a 4K camera. Available free LiDAR data was not used at this stage as the point density was significantly lower than the level we could obtain with the LIDAR system employed. The drone derived surface model was used to confirm the orientation of the LiDAR point cloud data of the cave and produce some imagery. The limited vegetation in the dolines at the time of the survey did not obstruct or influence the derived surface model.

Flight paths were calculated and set up in the commercially available Dronedeploy (www.dronedeploy.com). The software directs the drone to take images at the required rate and with at least an 80 % overlap from the previous shot. A note of the GNSS location was collated with each image. The same software Dronedeploy also uses photogrammetry to stitch high-resolution photos together to create a 3D surface model.

3.3 Procedure - From Scanning to 3D Model

3.3.1 Scanner Setup

In order to ensure a stable, effective scan, a stable ground has to be found, and the tripod should be stabilised. The scanner has to be powered up, and scanning configuration checked. It defaults to the previous setup, so no new configuration is required unless any scanning requirement has changed. It is only necessary to select a new scanning position and start a scan. If any issues arose, a new scan is performed.

3.3.2 The Scanning Process

For 3D imaging and determination of cave dimension, the resolution for scanning density was set to 4 cm at 100 metres and the range parameter set to High Definition. In this mode, the scanner makes several measurements of each point and records the one returned with the most confidence. The whole cave is scanned station by station, by gradually moving through the cave. The entire view field was scanned (100 x 360°) at each station. The time required for each scan was 2 minutes, based on the scanner settings we required (4 cm spacing at 100 m). The scanner can scan at a much greater density if required. In the show cave areas, where the scanner could be carried safely between stations, generally, the time taken from starting one scan to starting the next was 8 minutes. In the wild cave, where obstacles necessitated packing the scanner up in its protective bags before moving, time varied between 12 to 25 minutes. Each scan recorded between 10 and 20 million points, lower where there is the sky or a lot of water, neither of which will reflect the laser beam to record a point.

3.3.3 Data Capture and Processing

All data is backed-up twice before any processing takes place. The Riegl GNSS system is accurate to 2-3 m and could be improved by integration with another more accurate device. Where the sky was visible, in the dolines, GNSSGNSS was recorded in WGS 1984 Global Coordinate System which is compatible with almost all GIS software. Like all surveying methods, surveying a closed loop improves accuracy, so stations are not sited just in line, but all around passages and chambers. However, this is not possible along the Hankejev kanal, where there is only one route by which the surveyors can move through the cave. Therefore, there will be some, albeit small, inaccuracy as to location.

3.3.4 Building a 3D Model

Once all the scans are uploaded into the software and a project created, it is necessary to align all the scans into a final point cloud model. The best option use is the default 'project co-ordinate system' supplied which places all the points onto a Cartesian coordinate system. These can be transformed onto a geographic system later. The Riscan software extracts data, using a Plane Patch Filter from which it can recognise common patterns across scans and thereby align scans almost automatically. Firstly, the scans need to be registered; this allows the software to create a set of references from which to align the scans, then the Plane Patch Filters created, followed by a manual rough alignment of the scans. Finally, the Riscan Pro software applies the Plane Patch filter patterns to automatically and accurately align the scans together. As there is so much data, it proved better to align scans one by one. Once aligned, the combined scans are filtered and combined into a single block of data called Polydata. The filtering allows for the setup of a common point spacing, such as 1 point per 25 cm², across the model. The initial model was then exported from the Polydata as .LAS point-cloud model.

The point cloud was then imported into 3D Reshaper (Landriven, 2017). A mesh was created firstly by simply using the mesh commands, then using the "merge-common boundaries and fill holes" tools. The model was then refined from the original point cloud using the refine mesh commands and exported as a standard STL model.

Point cloud models created could be viewed and processed using free software such as CloudCompare (Daniel, 2016) and 3D models could be viewed using Meshlabs. Most of quality 3D software will allow viewing and processing of the LAS and STL file formats used.

Both the surface LiDAR scans and the photogrammetry are geo-referenced using onboard GNSS sensors. The accuracy of this is approximately 3–4 m, which was adequate for our needs. If ground control points had been used, that could improve to as low as 2 cm depending on the accuracy of the location of these points.

3.3.5 Volume calculations

Once a surface model of the cave is created in 3D Reshaper, in order to do volume calculations, all the holes in the surface must be filled. This is not as straightforward as there are many. This stems from not being able to position the scanner in every required position to scan every aspect of the cave. For example, due to the height of the river and the difficulty of negotiating the river at the river level. For instance, some areas of the walls below the path in the Hakejev kanal were not scanned. These holes must be filled

manually, but as long as no specific features are attempted to be represented, good knowledge of cave geometry and characteristics will permit a very good estimate in these areas. The holes where there are cave entrances must be filled as well, albeit just for this purpose. Once the mesh is closed, i. e. without holes, the properties of the surface model show its volume. It is a good idea to check that it makes sense by estimating rectangular blocks for each section of the cave and performing a manual calculation.

4 CAVE SCANNING AND RESULTS

4.1 Cave scanning

We scanned the caves in two campaigns. In 2018, the team captured the cave all the way from Ponor, through caves Mahorčičeva and Mariničeva jama, Mala and Velika dolina, to passage Šumeča jama and to the first part of Hankejev kanal (Hanke's Channel). We scanned as far as Swidovo razgledišče (Swida's viewpoint). The cave and surface were scanned from 320 stations.



Figure 3: Laser scanning of Hankejev kanal in 2018 (Photo M. Burkey).

In 2019 further 50 stations were scanned to the Martelova dvorana and 20 stations on the surface. The first report on scanning was published by Zupan Hajna and Walters (2019).

So far the 3D Scanning project of Škocjanske jame has been constructed via the use of 370 scanning stations, capturing 8.3 billion points and taking 2,600 hi resolution photos. It requires 250 GBytes of storage. If we include all the sub-models, videos and extractions, the overall storage requirement is almost 1Tbyte. In order to make use of the data, models were mostly decimated to at most one point per 0.1 m x 0.1 m surface area. The decimation is carried out with RiScan Pro, where an Octree Filter is applied to the data. This density is an aim, if due the range of the target surface, this cannot be obtained, in some areas, the density will be lower, though density is improved by multiple scans of the surface from different scanning stations. The compiled data compressed to a 3 GB shared memory with 48 million pixelspoints and then squeezed it to 8 million (8 MB) for ease of display. Such cloud of points can be viewed with different programs on personal computers; the example is 3D model of the cave produced in a Cloud Compare (Fig. 4).

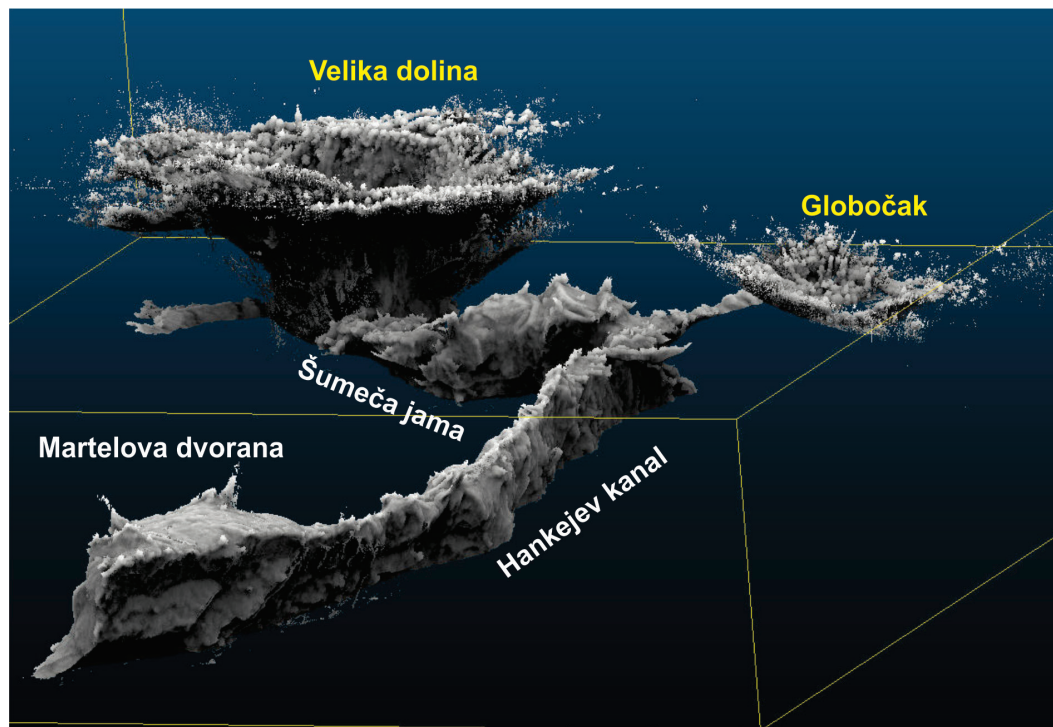


Figure 4: 3D point Cloud of Škocjanske jame made by CloudCompare; view from NW.

In addition, the scans show up details that are normally obscured by darkness and distance, as for instance speleogenetic features, that are too far away to be illuminated by available lights comment (Fig. 5).

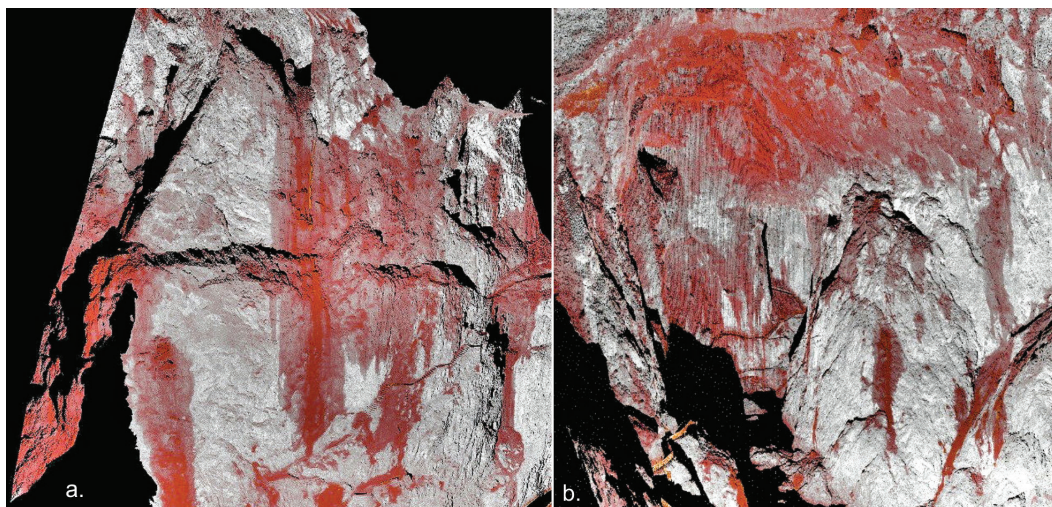


Figure 5: Wall features including pending wall failure fractures in Šumeča jama seen from the Point Cloud. The colour stems from difference reflectance levels of the cave walls

In the main cave detailed scans were taken of Ponvice (Gours) and of sediment profile in Tiha jama. Ponvice (Fig. 6a) were scanned with higher resolution (resolution 0.01 m; las data = 80 MB). Due to Cave Regulations, scans from above the gours could not be done, so data from the base of many of the gours is missing (Fig. 6b). Consequently, their volumes could not be calculated.

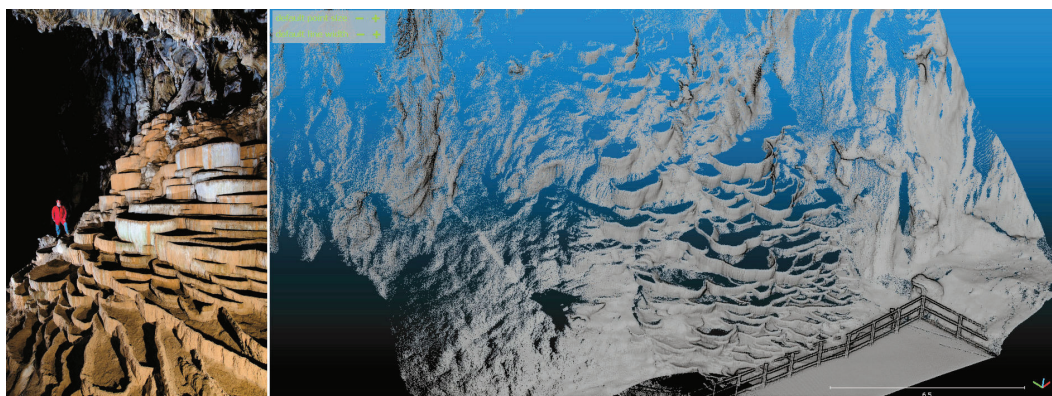


Figure 6: Comparison between the photo and 3D model of Ponvice: a.) photo (M. Burkey) and b.) CloudCompare 3D model.

4.2 Comparison with the caves' map

First, in our objectives was to compare the 3D model with the cave existing map (Drole, 2015). We extracted a ground plan of the Škocjanske jame made from tachymetric survey and the point cloud (on the image in grey) obtained by 3D laser scanning in February 2018. The layouts coincide very well, which reinforces the accuracy of both methods (Fig. 7).

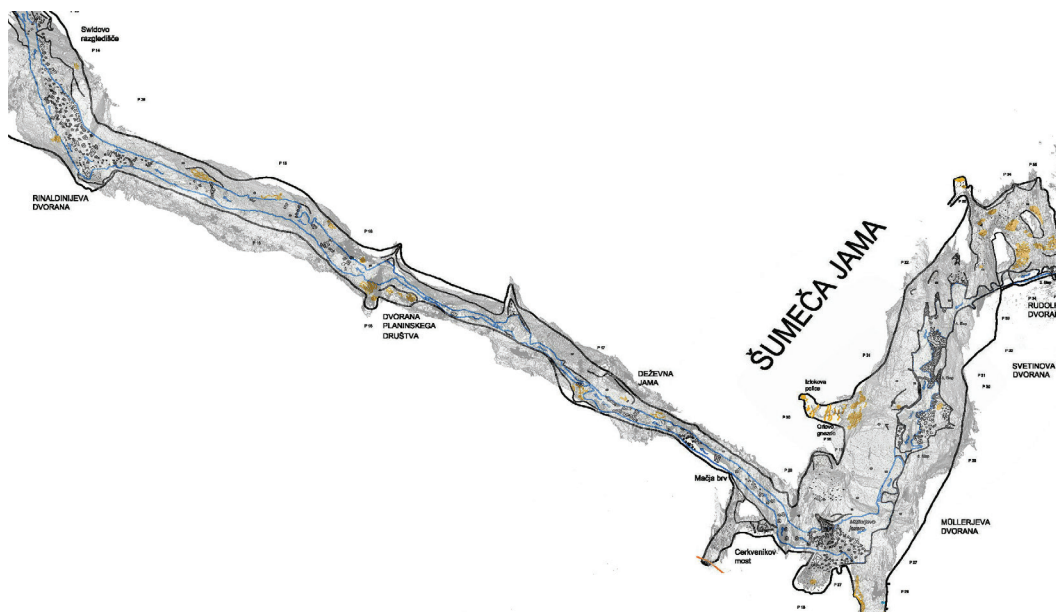


Figure 7: Comparison between the part of the ground plan (Drole, 2015) of the cave passages made from the tachymetric survey (black line) and the point cloud obtained by terrestrial laser scanning in February 2018 (points in grey).

4.3 Measurements and volumes calculation

Almost the whole cave was laser scanned. There are some small side passages, the passages in the continuation of Martelova dvorana and two new passages above it, which we didn't scan.



Figure 8: Laser scanning of Martelova dvorana in 2019 (Photo M. Burkey).

Overall cave volume from the ponor in collapse doline Velika dolina to Martelova dvorana is 6.13 million m³. Martelova dvorana (Fig. 8): chamber volume is 2.55 million m³; max. length is 314 m, width 143 m and height 158 m.

4.4 Surface scans

The rims of the collapse dolines Velika and Mala dolina, ponor of the river Reka and entrance to the pit Okroglica were scanned by TLS. The number of surface scans increasing from 12 in 2018 to 20 in 2019. Three points were tied into GNSS locations fixed by the survey undertaken by Drole (1997).

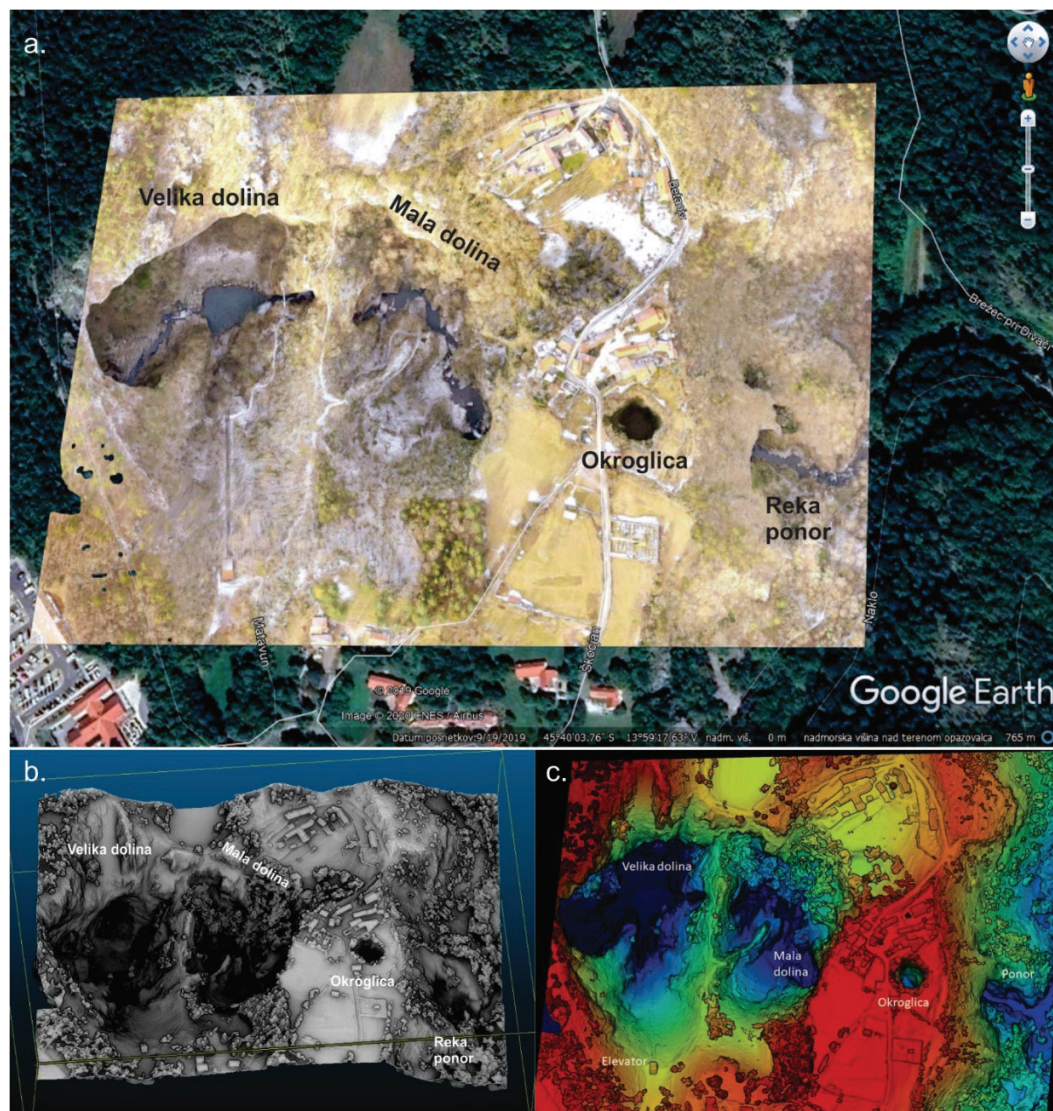


Figure 9: Examples of models obtained from UAV high-resolution images using photogrammetry: a.) drone image of collapse dolines layered on the Google Earth file; and their 3D models b.) in grey and c.) surface coloured regarding altitude a.s.l.

In addition to TLS a drone captured a large number of high-resolution photos over the karst landscape around the same collapse dolines (Figs. 9). The pictures were uploaded to Dronedeploy which, via knowledge of the location and orientation of each shot, recognising the same features in multiple shots photogrammetric procedures, built these images into a 3D surface model.

The accuracy of photogrammetric 3D model is 3-4 m. By using photogrammetry, a high-resolution 3D model, that contains elevation/height information (Fig. 9c), texture, shape, and colour for every point on the map, was created.

The models were combined in 3D Reshaper by selected known and predetermined reference points in both models and allowing the software to align them (Fig. 10).

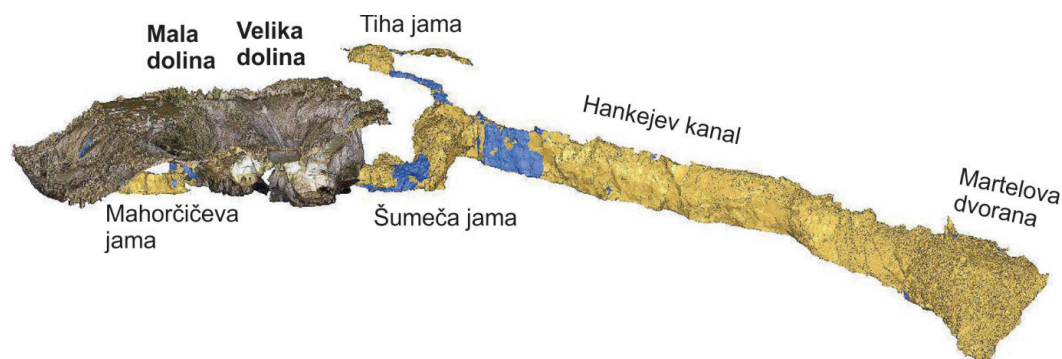


Figure 10: By 3D Reshaper's connected digital surface model around collapse dolines and 3D cave model.

5 DISCUSSION

5.1 Comparisons

Our measurements and calculations of the volumes are comparable with the data of the Institute from the 1990s. Volume of the whole cave we scanned is 6.13 million m³; Institute calculation was $V = 5$ million m³ (Drole, 1997). The volume of Martelova dvorana was calculated to 2.55 million m³, which was found to be a little larger than previously estimated (2.2×10^6 m³; Drole, 1997). There was a comparison done between maps produced by theodolite measurement and 3D laser scan; interesting was that there were no major differences in the layout of the two plans. We would like to emphasize that the cloud of points was only approximately placed on the existing map since 3D scanning data was still not attached to the tachymetric survey via GNSS points on the surface. The scanned point cloud extends beyond the cave plan at Reka ponor and on the margins of collapsed dolines the Mala and the Velika dolina, because the surface was also scanned but not mapped. The improvements in completeness of the TLS models must be taken as a reflection of improving technology and method and not so as to offer criticism of previous work which stand as excellent examples of work. It is not claimed that linear measurements using LiDAR will be better than those using tachymetry, far from it, however, the LiDAR does remove errors in the cartographer's estimations when drawing up a map based on just theodolite data.

Comparison with the largest chambers of the world measured until 2019 has shown that the size of the Martelova dvorana reaches the 11th place in the world (see Table 1) and 2nd in Europe after Salle de la Verna (3.6 million m³). Nevertheless, Martelova dvorana is the largest river passage in Europe.

Table 1: As of December 2019.

No	Name	Cave	Vol (x10 ⁶ m ³)	(x10 ³ m ²)	Country	Area
1	Miao Room	Gebihe	10.59	151.99	China	Ziyun County, Guizhou
2	Sarawak Chamber	Nasib Bagus	9.81	168.87	Malaysia	Mulu National Park, Sarawak
3	Cloud Ladder Hall	Quankou Dong	6.23	56.74	China	Tongzi, Wulong County, Chongqing
4	Funnel of Light	Maoqidong	6.13	39.85	China	Leye County, Guangxi
5	La Muneca Fea	Tlamanictli-TZ1	5.90	65.06	Mexico	Tepepan, Zaragosa, Puelba
6	Hong Meigui	Niu Ping Dong	5.56	62.70	China	Leye County, Guangxi
7	Ghar-e-Dosar	Ghar-e-Dosar	4.33	79.14	Iran	Mehrib, Yadz
8	Majlis al Jinn	Majlis al Jinn	4.11	59.41	Oman	Selma Plateau
9	Salle de la Verna	Reseau de la Pierre San Martin	3.65	43.15	France	Sainte-Engrace, Pyrénées-Atlantiques
10	Api Chamber	Whiterock Clearwater System	2.89	42.73	Malaysia	Mulu National Park, Sarawak
11	Martelova dvorana (Martel's Chamber)	Škocjanske jame	2.55	32.89	Slovenia	Divača, Kras
12	Titan Chamber	Ban Dong Xinu - Chu Yan Dong	2.43	52.81	China	Doshan, Anlong County, Guizhou
13	Gran Sala GEV	Torca de la Carlista	2.14	84.31	Spain	Cantabria
14	Haiting Chamber (Left)	Nongletiankeng	2.12	40.53	China	Fengshun County
15	Marco Polo	Nongluidong	1.44	45.69	China	Dinlong, Jinya, Fengshan District, Guangxi
16	The Big Room	Carlsbad Caverns	0.93	45.36	USA	New Mexico
17	Haiting Chamber (Right)	Nongletiankeng	0.87	32.98	China	Fengshun County
18	Belize Chamber	Chiquibul Cave	0.81	46.38	Belize	Chiquibul

5.2 Problems in laser scanning of natural caves

Scanning the natural caves with heavy equipment is not easy, especially in the narrow, vertical or big and long cave passages. Most of 3D models of the caves were done in small ones or they scanned just one of the cave chambers for the scientific or monitoring purposes (*e.g.* Canevese, Tedeschi and Forti, 2009; Grussenmeyer *et al.*, 2010; Lerma *et al.*, 2010; Milius and Peters, 2012; Silvestre *et al.*, 2015; Oludare Idrees and Pradhan, 2016).

The biggest issues in large caves scanning are listed and described here.

1. Scientific Rigour: The discipline required to maintain surveying standards when cavers are getting cold, tired and hungry; scanning in manageable sections is important.
2. Shadows: Large speleothems, people, corners all create shadows. It is always necessary to perform many more scans than might have been perceived so as to capture all elements of the cave. That said, without special climbing and caving skills, some areas will always prove impossible to scan.

3. **Colour:** It is virtually impossible to scan in colour in large caves. Even the best light sources will not reach much beyond 50 m. So the furthest points will always be coloured black. To some degree this can be overcome by other scans that are closer to the subject, but obtaining perfect colour capture is very time-consuming work, matched with the unconvincing case for requiring colour data.
4. **Errors:** Measurement errors are small, especially if the scans are taken around a chamber so that, in effect a closed loop is obtained. However, in long passages where no loop closure is possible, errors will eventually become significant.
5. **GNSS:** When scanning where GNSS is available, The Reigl and indeed, all scanners' GNSS performance is limited but can be improved with integration with other specialist GNSS systems. Good software will allow corrections to be incorporated by adding the third party measured GNSS located fixed tie points into the scan registration process.
6. **Range:** Scanning at long range should only be undertaken where it is not necessary. The errors at long range become significant and result in errors in the model such as dual surfaces and repeated cracks and faults – both where there is only one in reality. This is largely overcome by discarding all points over 50 m in range in the scan registration process. For some scans, they will have to be kept.
7. **ADD mixed pixels** which can be particularly problematic when dealing with longer distances and a high surface details.
8. **Cost:** 3D scanning is a hideously expensive process, both in initial outlay, maintenance and the time required to process data. Here it has to be said that the price is correlated to the user requirements. The theodolite measurements might be cheaper, but do not provide so much cartographic detail as laser scanning.

6 CONCLUSION

During fieldwork, almost all the passages of Škocjanske jame and the slopes of the collapse dolines Velika and Mala dolina were scanned by TLS method. From the measurements and calculations of their volumes, it can be concluded that caves Škocjanske jame contain the largest known river canyon in Europe, that the Martelova dvorana is most definitely a chamber and is the 2nd largest in Europe and the 11th largest in the world (see the results as of November 2019 in Table 1). Furthermore, we can point out that 3D scanning will become a vital tool for the future study of caves.

In conclusion, we can say, that there is much scientific work still in progress reviewing this data, but reviews of speleogenesis, the role of freeze-frost in enlarging cave passage and the relationship between other caves in the Reka 'system' are underway.

Acknowledgements

The authors acknowledge ZRC SAZU Karst Research Institute and Park Škocjanske jame for their financial support. The scanning was done in the frame of the project Karst research for sustainable use of Škocjan Caves as World Heritage, L7-8268 which was financially supported by the Slovenian Research Agency.

Behind the 3D scan among authors have stood: Prof. Peter Smart; cavers: Andy Eavis, Jessica Burkey, Mark Burkey, Claire Vivian, Caron Gaisford, Carsten Peter, John Nelves, Laura Appleby and Anja Hajna; collaborators of Škocjan Caves Park: Dr Rosana Cerkevnik, Borut Peric, Borut Lozej, Tomaž

Zorman; and collaborators of Karst Research Institute ZRC SAZU: Dr Andrej Mihevc, Franjo Drole, Dr Matej Blatnik, Blaž Kogovšek. Thanks to Stanislav Glažar, who made the first comparison between cave map and point cloud in 2018. For the installation of the rope over the river crossings, we thank Tomaž Zorman and Dr Mitja Prelovšek.

Literature and references:

- Boegan, E. (1938). Il Timavo. Studio sull'idrografia carsica subaerea e sotterranea. Memorie dell'Istituto Italiano di Speleologia, II, 251, Trieste.
- Canevese, E. P., Tedeschi, R., Forti, P. (2009). The caves of Naica: laser scanning in extreme underground environments. *The American Surveyor* 6 (2), 8–19.
- Daniel, G. (2016). CloudCompare. Retrieved Jan 21, 2018, from Cloudcompare: <http://www.danielgm.net/cc>.
- Drole, F. (1997). New survey of Škocjanske jame. Proceedings of the 12th International Congress of Speleology, 6, 25–28. Basel: La Chaux-de-Fonds, Switzerland.
- Drole, F. (2015). Digitalized map of Škocjan Caves. Archives of Karst Research Institute ZRC SAZU.
- Grussenmeyer, P., Landes, T., Alby, E., Carozza, L. (2010). High resolution 3D recording and modelling of the Bronze Age Cave "Les Fraux" in Perigord (France). *International Archives of Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Science*, 38 (5), 262–267.
- Kennedy, C. (2013). Riegl RiScan Pro - MSA Adjustment using Plane Patch Filter. <https://www.youtube.com/watch?v=MDnqP5KV5eA>, accessed 20. 1. 2018.
- Landrion, N. (2017). 3D Reshaper. <https://www.3dreshaper.com/en/>, accessed 21. 1. 2018.
- Lerma, J. L., Navarro, S., Gabrelles, M., Villaverde, V. (2019). Terrestrial laser scanning and close range photogrammetry for 3D archaeological documentation: the Upper Palaeolithic Cave of Parpalló as a case study. *Journal of Archaeological Science*, 37 (3), 499–507. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jas.2009.10.011>
- Meeraus, A. (1913). Grotten und Höhlen von St. Canzian bei Divača (Triest) aus Zeitschrift des Deutschen und Oesterreichischen Alpenvereins 1890, Band 2.
- Mihevc, A. (1994). The Martel's Chamber in Škocjanske jame. *Acta Carsologica*, 23, 205–214.
- Mihevc, A. (1995). Nove meritve Martelove dvorane v Škocjanskih jamah. *Naše jame*, 37, 39–44.
- Mihevc, A. (1998). Škocjanske jame – A contribution to Speleogenesis. *Naše jame*, 40, 11–27.
- Milius J., Petters C. (2012). Eisriesenwelt – From Laser Scanning to Photo-Realistic 3D Model In Jekel T., Car A., Strobl J. & Griesebner G. (Eds.), *GI-Forum 2012: Geovisualization, Society and Learning*. Salzburg: 513–523.
- National Geographic (2014). Amazing 3-D tour of a Chinese supercave. *National Geographic*. <http://video.nationalgeographic.com/video/magazine/ngm-china-caves-3d>, accessed 5. 9. 2019.
- Novakovič, G., Mlekuž, D., Rozman, L., Lazar, A., Peric, B., Cerkenik, R., Peternelj, K., Erič, M. (2014). New approaches to understanding the world natural and cultural heritage by using 3D technology: UNESCO's Škocjan Caves, Slovenia. *International Journal of Heritage in the Digital Era*, 3 (4), 629–641. DOI: <https://doi.org/10.1260/2047-4970.3.4.629>
- Oludare Idrees, M., Pradhan, B. (2016). A decade of modern cave surveying with terrestrial laser scanning: a review of sensors, method and application development. *International Journal of Speleology*, 45 (1), 71–88. DOI: <https://doi.org/10.5038/1827-806X.45.1.1923>
- Silvestre, I., Rodrigues, J.I., Figueiredo, M., Veiga-Pires, C. (2015). High-resolution digital 3D models of Algar de Penico Chamber: limitations, challenges, and potential. *International Journal of Speleology*, 44 (1), 25–35. DOI: <https://doi.org/10.5038/1827-806X.44.1.3>
- Ullrich, A. (2017). Riscan Pro, 2.6. <http://www.riegl.com/products/software-packages/riscan-pro/>, accessed 20. 1. 2018.
- Official Gazette of the Republic of Slovenia No 2/2004. Zakon o varstvu podzemnih jam [Cave Protection Act].
- Walters, R. (2016). Les plus grandes cavernes du monde en 3D, 48–51. *Spelunca*, 5 (142), 48–51. DOI: <https://doi.org/10.3406/estat.1974.1783>
- Walters, R. (2017). Largest Cave Chambers in the World - 3D Scanning Project. *UIS Bulletin*, 59 (2), 52–53.
- Zupan Hajna, N., Walters, R. (2019). Terestrično 3D lasersko skeniranje Škocjanskih jam. In Rožič, B. *Geološki zbornik*, 25, 158–163. 24. Posvetovanje slovenskih geologov.



Walters R., Zupan Hajna N. (2020). 3D laser scanning of the natural caves: example of Škocjanske jame. *Geodetski vestnik*, 64 (1), 89–103. DOI: <https://doi.org/10.15292/geodetski-vestnik.2020.01.89-103>

Richard Walters

Commendium LTD

1a Hobson Court, Gillan Way, Penrith CA11, Great Britain

e-mail: richard.walters@commendium.com

Assoc. Prof. Dr. Nadja Zupan Hajna

Karst Research Institute ZRC SAZU

Titov trg 2, SI-6230 Postojna, Slovenia

e-mail: zupan@zrc-sazu.si

KARTA VEKTORJEV KOT MAP OF VECTORS AS A TRUST KARTICA ZAUPANJA CARD

Joc Triglav

1 UVOD

V preteklosti je bilo v Geodetskem vestniku na temo transformacij koordinatnih sistemov in prehoda na novi državni koordinatni sistem D96/TM objavljeno več člankov. Med drugimi sta bila o analizi skladnosti D48/GK- in D96/TM koordinat zemljiškokatastrskih točk (v nadaljevanju: ZK-točke) objavljena dva članka, ki sta povezana s tokratno vsebino, prvi za območje Pomurja oziroma za območje OGU Murska Sobota (Berk, Komadina in Triglav, 2011) in drugi za območje Prekmurja oziroma za območji geodetskih pisarn Murska Sobota in Lendava (Triglav, 2017). Poleg tega je z vsebino prispevka povezan članek o švicarskem sistematičnem pristopu k oceni kakovosti transformacije koordinatnih sistemov za območje Švice z izdelavo empirične karte točnosti (Triglav, 2014). Med novimi članki je zelo zanimiv na primer tudi članek o bavarskem sistemu Ortra (Glock in sod., 2019), čeprav je za slovenske razmere še blizu znanstvene fantastike. V tem zapisu bo na primerih opisan in slikovno ponazorjen postopek določitve vektorjev koordinatnih razlik ZK-točk za katastrske občine nnnn na območju geodetske pisarne Murska Sobota (tj. $0 < \text{nnnn} \leq 136$).

2 O KATERIH VEKTORJIH GOVORIMO?

Območje geodetske pisarne Murska Sobota ni bilo vključeno v postopke lokacijske izboljšave zemljiškokatastrskih prikazov (Rotar in Murovec, 2019), ker so le-ti v starem koordinatnem sistemu D48/GK položajno povsem enaki zemljiškokatastrskim načrtom. To pomeni, da so bile v starem koordinatnem sistemu D48/GK za vse ZK-točke grafične koordinate (Y, X) enake numeričnim koordinatam (Y_{GK} , X_{GK}) oziroma da so bili vektorji koordinatnih razlik med obema paroma koordinat za vse ZK-točke, tj. za skupno preko 1,4 milijona točk, dolžine 0,00 m oziroma jih ni bilo. Z izvedbo državne afine trikotniške transformacije, v4.0, v novi koordinatni sistem D96/TM so dobile nove grafične koordinate (GE, GN) vse ZK-točke, nove numerične koordinate (E, N) pa le tiste, ki pred transformacijo še niso imele določenih oziroma izmerjenih numeričnih koordinat (E, N). ZK-točke, ki so pred transformacijo že imele določene oziroma izmerjene numerične koordinate (E, N), so te koordinate ohranile.

Tako so ZK-točke, ki so pred transformacijo že imele določene oziroma izmerjene numerične koordinate (E, N), s transformacijo iz sistema D48/GK v sistem D96/TM pridobile grafične koordinate (GE, GN), ki se razlikujejo od numeričnih koordinat (E, N). Torej so na točkah, ki so jim bile med letoma 2008 in 2019 v postopkih izdelave elaboratov geodetskih storitev določene numerične koordinate (E, N) – in samo na teh točkah! –, nastali vektorji koordinatnih razlik.

Na prvi pogled bi človek ob tem dejstvu pomislil, da se je za razjokat! V starem koordinatnem sistemu D48/GK vendar nismo imeli niti enega vektorja, v novem koordinatnem sistemu pa je nastalo na stotisoče majhnih vektorjev, 'razsutih' v vse smeri po vseh katastrskih občinah povsod tam, kjer so bili med letoma 2008 in 2019 izvedeni geodetski postopki! Skrb je odveč in tudi za jokanje ni razloga, ravno nasprotno! Ta 'vektorska nadloga' je namreč v resnici zelo pomembna in koristna ter nepogrešljiva za kakovostno geodetsko delo! Ponazoritev tega dejstva je opisana v nadaljevanju.

3 VEKTORJI PRI GEODETSKEM DELU V KATASTRU

Vektorji koordinatnih razlik dejansko predstavljajo razliko med merjenimi koordinatami v sistemu D96/TM in grafičnimi koordinatami v sistemu D96/TM, ki so transformirane iz sistema D48/GK. Z namenom kasnejše obdelave in prikaza podatkov o nastalih vektorjih smo po državni transformaciji koordinat ZK-točk, izvedeni v januarju leta 2019, za vse katastrske občine izvedli zapis koordinatnih datotek iz aktivne baze ZK-točk v formatu standardne izmenjevalne datoteke nnnn-VGEO.ZKV, kjer je nnnn šifra katastrske občine v razponu $0 < \text{nnnn} \leq 136$.

Razlogov za nastanek vektorjev koordinatnih razlik je lahko več, praviloma pa so v glavnem naslednji:

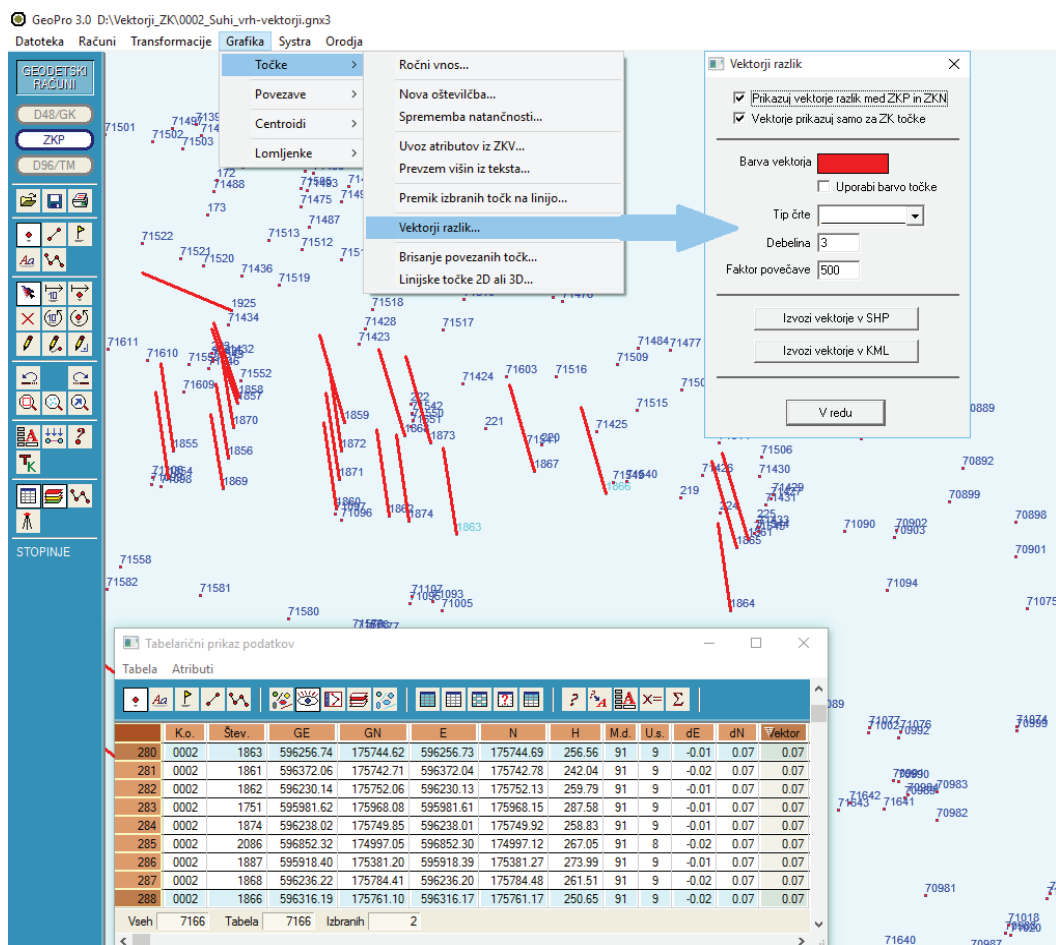
- lokalne deformacije oziroma nehomogenosti mreže geodetskih točk v sistemu D48/GK, s katerih so bile z meritvami v preteklosti določene koordinate ZK-točk,
- neodvisni prenos deformacij zaradi položajne različnosti nabora veznih točk, ki tvorijo osnovo državne trikotniške transformacije iz sistema D48/GK v sistem D96/TM,
- razlika med položajno soodvisnostjo ZK-točk od mreže geodetskih točk v sistemu D48/GK od položajne soodvisnosti ZK-točk od mreže teh istih geodetskih točk, izmerjenih v sistemu D96/TM,
- slabo izvedena geodetska meritev.

Razlogi za nastanek vektorjev niso omejeni na te, ki so navedeni v gornjih alinejah, je pa obstoječe vektorje treba poznati in upoštevati za doseganje višje položajne kakovosti, če želimo pri delu dosegati ne le visoko natančnost meritev, ki nam jo omogočajo sodobni geodetski instrumenti, temveč tudi skladnost določitve položaja v naravi z rezultati predhodnih meritev v arhivu zemljiškega katastra. Plan in izvedba geodetskih opazovanj morata uporabljati dosegljivo natančnost ter izpolnjevati zahteve točnosti in zanesljivosti ob upoštevanju ekonomske upravičenosti. Tako je bilo v preteklosti, tako je danes in tako bo po vsej verjetnosti tudi v prihodnosti, vsaj dokler bomo geodeti še imeli kaj besede pri tem. Razlika skozi daljša časovna obdobja je pri geodetskem delu v bistvu le v tehničnih možnostih oziroma načinih izpolnjevanja zahtev in v velikosti vrednostnih razredov izpolnjevanja zahtev. Dosegljiva natančnost nekdanjih geodetskih instrumentov se ne more kosati z natančnostjo, ki jo omogočajo sodobni geodetski instrumenti in tehnologije, zato je bilo v doseganje čim točnejših rezultatov vedno treba vlagati veliko naporov. V bistvu je še danes enako, le da smo geodeti svoje zahteve po točnosti v zemljiškem katastru povečali. Medtem ko smo bili nekoč zadovoljni z 'metri' in potem v nadaljevanju z 'decimetri', v sodobnem času pričakujemo in potrebujemo 'centimetre'. Za našo lažjo predstavo in razumevanje stanja je najenostavneje, če uporabimo možnosti programske opreme in prilagoditve aplikacij.

Enostaven grafični prikaz položajev, smeri in velikosti vektorjev koordinatnih razlik je na primer mogoč v programskem orodju GeoPro (slika 1 in 2). V programskem modulu Zemljiški kataster uvozimo koordinatno datoteko v standardnem ZKV-formatu in nato v programskem modulu Geodetski računi z izborom

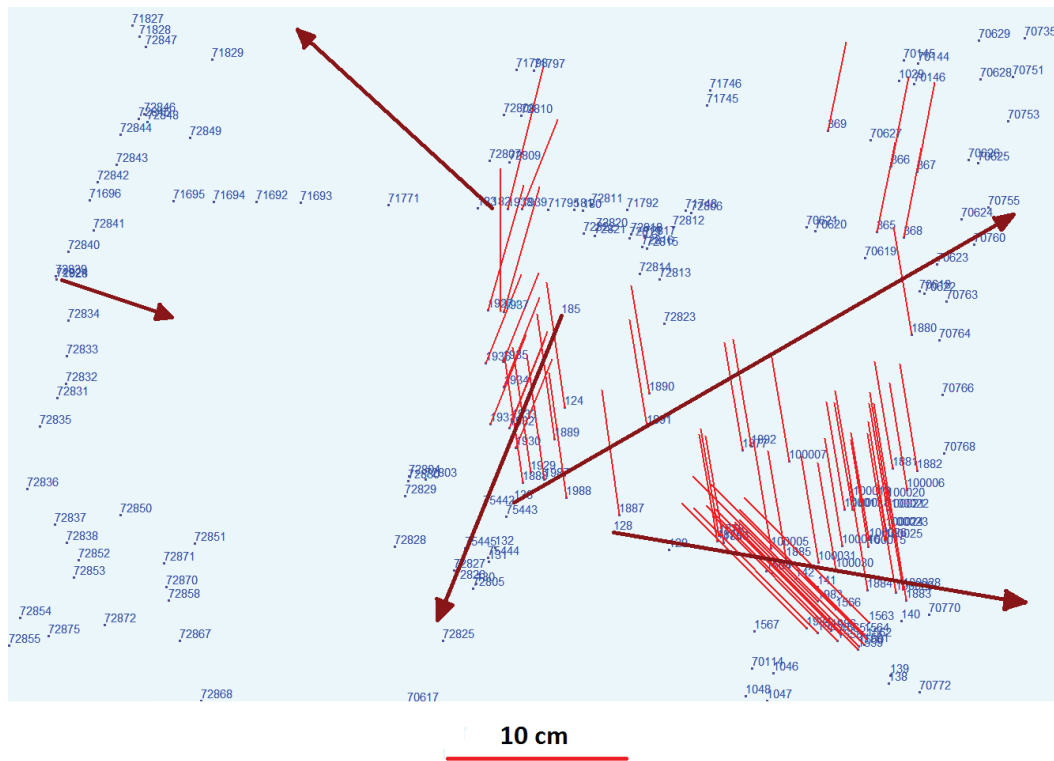
ukaza *grafika* > *točke* > *vektorji razlik* ... odpremo okence za vnos parametrov za nazoren izris vektorjev v grafičnem oknu programa GeoPro oziroma izvoz vektorjev v datoteko SHP ali datoteko KML, ki sta koristni za izvoz in prikaz vektorjev v drugih programskih orodjih, npr. QGIS, Google Earth (slika 7) ipd. Za prikaz dolžin vektorjev moramo izbrati primeren faktor povečave izrisa. Izberemo ga tako, da so vektorji na sliki nazorno vidni. V katastrskih občinah, kjer je pričakovana dolžina večine vektorjev pod 10 centimetrov, je glede na dosedanje izkušnje za nazoren prikaz vektorjev primeren faktor povečave 1000 ali vsaj 500. Na območjih z večjimi velikostmi vektorjev pa je primerno izbrati manjši faktor povečave.

Prikazi vektorjev so zelo zgovorni. Geodetu zaigra srce na območjih, kjer so vektorji majhni in približno enakih smeri (slika 1). To je indikator, da na terenu pri skrbnem geodetskem delu ni pričakovati večjih težav pri doseganju ustrezne točnosti v katastrskih postopkih (tu seveda ne govorimo o strankah, ki so vedno lahko dejavnik negativnih presenečenj).



Slika 1: Koraki v programu GeoPro za prikaz vektorjev ZK-točk. Uporabljen je faktor 500 za povečavo izrisa vektorjev. Vektorji so približno enake velikosti 7 centimetrov in približno enakih smeri. Točke, ki so na sliki brez vektorjev, pred transformacijo koordinatnih sistemov niso imele določenih (E, N) koordinat. Vir: OGU MS, 2019, VGEO.ZKV datoteka k. o. 2 Suhi vrh, izvirno merilo katastrskega načrta 1 : 2880.

Čelo pa se geodetu začne gubati, ko zagleda daljše vektorje, še posebej, če so usmerjeni zelo različno (slika 2). Taká slika pomeni, da bo na terenu zagotovo potrebno posebej skrbno geodetsko delo, praviloma z dodatnimi meritvami in več nadštevilnimi meritvami, tako na samem delovišču kot v njegovi neposredni okolici.



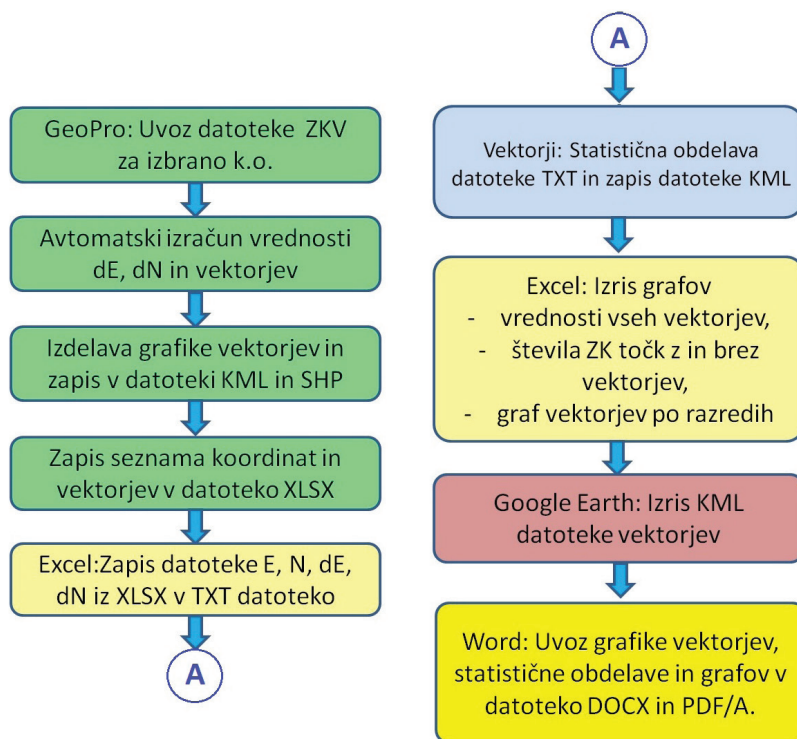
Slika 2: Prikaz vektorjev ZK-točk. Uporabljen je faktor 500 za povečavo izrisa vektorjev. Večina vektorjev je približno enake velikosti, posamezne skupine vektorjev so različnih smeri. Vektorji z najbolj izstopajočimi razlikami v smeri in dolžini so prikazani odebeljeno. Točke, ki so na sliki brez vektorjev, pred transformacijo koordinatnih sistemov niso imele določenih (E, N) koordinat. Vir: OGU MS, 2019, VGEO.ZKV datoteka k. o. 2 Suhi vrh, izvorno merilo katastrskega načrta 1 : 2880.

Pri izvedbi geodetske storitve je torej treba posvetiti posebno pozornost, izvesti dodatne kontrolne meritve in po potrebi ponovno določiti koordinate ZK-točk na obravnavani parceli, ki so bile pridobljene s transformacijo iz D48/GK v začetku leta 2019, in sicer na vseh območjih, kjer na delovišču in v neposredni okolici:

- dolžine vektorjev presegajo 10 centimetrov oziroma
- vektorji po velikosti in/ali smeri niso skladni ali
- ni vektorjev na obstoječih ZK-točkah.

4 OSNOVNA STATISTIČNA OBDELAVA PODATKOV O VEKTORJIH

Koraki za obdelavo podatkov o vektorjih koordinatnih razlik, izdelavo grafičnih prikazov in zapis rezultatov v arhivsko pdf-datoteko so prikazani na spodnji sliki 3.



Slika 3: Diagram poteka dela za obdelavo in prikaz vektorjev ter arhiviranje rezultatov v arhivsko pdf-datoteko.

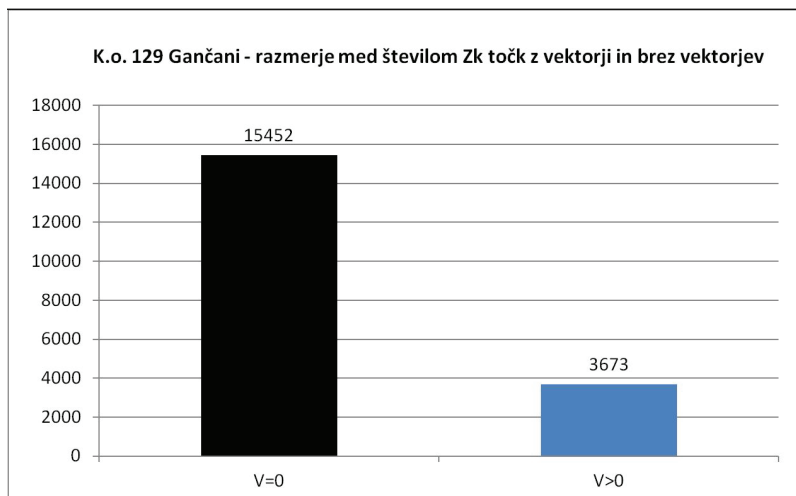
Preglednica 1: Rezultati statistične obdelave vektorjev koordinatnih razlik za k. o. 129 Gančani.

Podatek	Vrednost [m]	Opis podatka
MIN(D)	0,010	minimum dolžin 2R-vektorjev
MAX(D)	0,378	maksimum dolžin 2R-vektorjev
MID(D)	0,194	sredina razpona dolžin 2R-vektorjev
AVG(D)	0,042	povprečje dolžin 2R-vektorjev
MED(D)	0,032	središče (mediana) dolžin 2R-vektorjev
S_MID(N,E)	(0,025, -0,055)	središče razpona 2R-vektorjev (središče očištanega pravokotnika)
S_AVG(N,E)	(-0,009, 0,015)	povprečje (težišče) 2R-vektorjev
~S_MED(N,E)	(0,000, 0,010)	približek središča (prostorski medoid) 2R-vektorjev
RMS(D)	±0,062	RMS dolžin 2R-vektorjev
STD(D)	±0,045	standardni odklon dolžin 2R-vektorjev
rSTD(D)	±0,016	robustni standardni odklon dolžin 2R-vektorjev
R_STD(N,E)	±0,059	radialni standardni odklon 2R-vektorjev

Za potrebe osnovne statistične obdelave podatkov o vektorjih koordinatnih razlik iz programa GeoPro izvozimo seznam koordinatnih podatkov v Excel. Za statistično obdelavo potrebujemo koordinate (E, N) in koordinatni komponenti vektorjev (dE, dN). Te podatke lahko oblikujemo v izbor stolpcev že v seznamu koordinat v programu GeoPro ali pa to storimo kasneje v Excelu. Iz Excela izvozimo oziroma zapišemo seznam E, N, dE, dN v tekstovno datoteko, ki je vhodna datoteka za program Vektorji. Avtor programa Vektorji je Sandi Berk z Urada za geodezijo GURS, ki program uporablja za različne analize vektorjev hitrosti in vektorje koordinatnih razlik na točkah. Program je neposredno koristen uporaben za statistično obdelavo velikosti in smeri vektorjev koordinatnih razlik ZK-točk (preglednica 1). Za ponazoritev je uporabljen primer statistične obdelave vektorjev za k. o. 129 Gančani s stanjem ZK-točk pred izvedbo obsežne komasacije (cca. 700 ha) v tej katastrski občini v letu 2019.

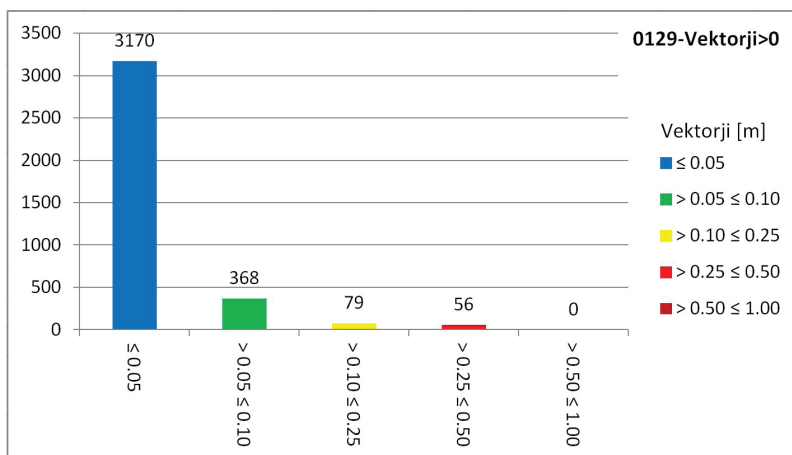
Za grafično ponazoritev razporeditve vseh vektorjev koordinatnih razlik po velikostnih razredih na območju posameznih katastrskih občin so za hiter vpogled v stanje vektorjev koristni trije grafikoni (slike 4, 5 in 6):

1. Število ZK-točk brez vektorjev ($|V| = 0$) in ZK-točk z vektorji ($|V| > 0$). Koordinate ZK-točk brez vektorjev (oziroma z ničelnimi vektorji) so bile določene v koordinatnem sistemu D48/GK pred letom 2008. Koordinate ZK-točk z (neničelnimi) vektorji pa so bile določene v koordinatnem sistemu D96/TM med letoma 2008 in 2019 (slika 4).



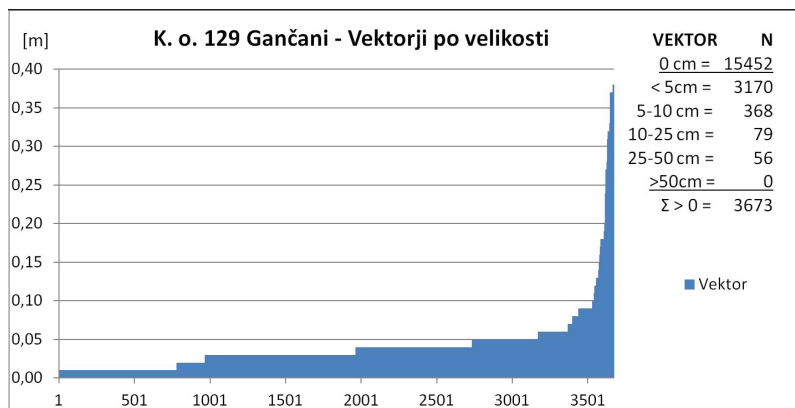
Slika 4: Primer grafikona za posamezno k. o. s številom ZK-točk brez vektorjev ($|V| = 0$) in številom ZK-točk z vektorji ($|V| > 0$).
Vir: OGU MŠ, 2019, VGEO.ZKV datoteka k. o. 129 Gančani, izvorno merilo katastrskega načrta 1 : 2500.

2. Število ZK-točk z vektorji ($|V| > 0$), razporejeno po enotno določenih velikostnih razredih (slika 5)



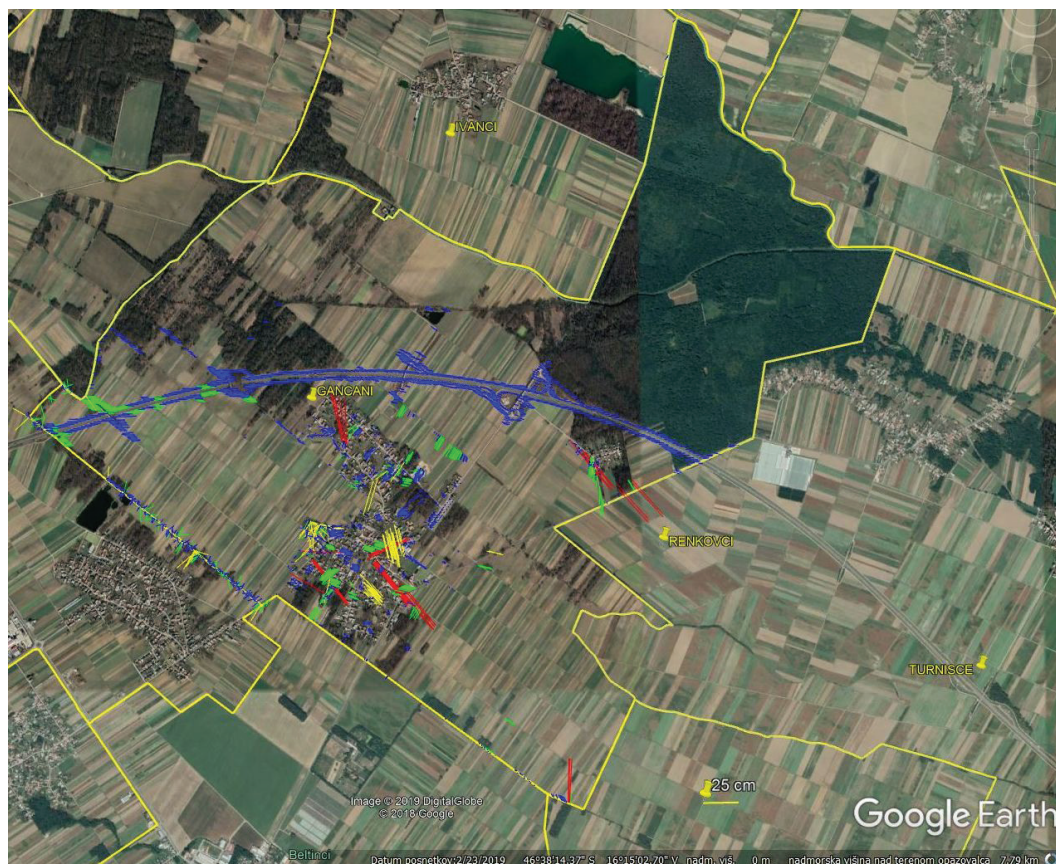
Slika 5: Primer grafikona za posamezno k. o. s številom ZK-točk z vektorji ($|V| > 0$), razporejeno po velikostnih razredih. Velika večina vektorjev je krajša od 5 centimetrov, vektorjev, daljših od 50 centimetrov, ni. Vir: OGU MS, 2019, VGEO.ZKV datoteka k. o. 129 Gančani, izvirno merilo katastrskega načrta 1 : 2500.

3. Razvrstitev vseh vektorjev koordinatnih razlik v posamezni katastrski občini po velikosti (slika 6)



Slika 6: Primer analize razvrstitve vseh vektorjev koordinatnih razlik po velikosti za k. o. 129 Gančani. Dolžina največjega posamičnega vektorja ja 38 centimetrov. Vir: OGU MS, 2019, VGEO.ZKV datoteka k. o. 129 Gančani, statistična obdelava v programu Vektorji, razvrstitev in grafikon izvedena v Excelu.

Rezultat obdelave seznama E, N, dE, dN v programu Vektorji je tudi kml-datoteka vektorjev, kjer si lahko z uporabo vgrajene nastavitve parametrov izrišemo vektorje v različnih barvah glede na njihov velikostni razred (slika 5) in jih izrišemo na slikovno podlago daljinskega zaznavanja v aplikaciji Google Earth (slika 7). Tako dobimo tudi hiter vpogled v prostorsko razporeditev vektorjev in njihovega velikostnega razreda v posamezni katastrski občini. Za katastrske občine na območju geodetske pisarne Murska Sobota je značilno, da je večina vektorjev manjša od 10 centimetrov (v zeleni barvi), v ravninskem območju pa manjša od 5 centimetrov (v modri barvi). Kot je že zapisano zgoraj, posebna pozornost pri geodetskem delu velja območjem, kjer so vektorji večji od 10 centimetrov (v rumeni barvi) ali celo večji kot 25 centimetrov (v rdeči barvi).



Slika 7: Prikaz vektorjev koordinatnih razlik na območju k. o. 129 Gančani v aplikaciji Google Earth z uporabo kml-datoteke iz programa Vektorji. V različnih barvah so prikazani vektorji v štirih velikostnih razredih, kot so enotno določeni za vse katastrske občine na območju geodetske pisarne Murska Sobota. Vir: OGU MS, 2019, VGEO.ZKV datoteka k. o. 129 Gančani, izvorno merilo katastrskega načrta 1 : 2500.

5 SKLEP

Po enakem postopku, kot je opisan v prispevku, bomo letos obdelali vektorje koordinatnih razlik za vse katastrske občine na območju geodetske pisarne Murska Sobota. Rezultati obdelav bodo po končanem delu zapisani v arhivske pdf-datoteke in naloženi v digitalni arhiv zemljiškega katastra, kjer bodo geodetom trajno dosegljivi kot koristen pripomoček pri terenskem delu in izvedbi geodetskih elaboratov. Geodeti pa lahko tak pristop k delu brez ovir uporabijo nemudoma na vseh svojih deloviščih, saj je zanj kot vhodni podatek potrebna le VGEO.ZKV datoteka, ki jo za vsak elaborat posebej pridobijo kot standardno vsebino pri izdaji podatkov geodetske uprave geodetskim podjetjem. Od tu naprej pa je le še nekaj klikov 'telovadbe' do prikaza rezultatov, kot so na primerih prikazani v prispevku.

Opisani postopek je z nekaterimi modifikacijami uporaben za ponazoritev analiz koordinatnih razlik v vseh katastrskih občinah v Sloveniji. Prav tako bi bilo zelo priporočljivo postopek vgraditi tako v standardna programska orodja Geodetske uprave RS kot v programske orodji GeoPro in Geos, kar bi geodetskim pod-

jetjem omogočalo stalno in poenoteno spremljanje in upoštevanje vektorjev koordinatnih razlik pri izvedbi posameznih geodetskih elaboratov, geodetski upravi pa avtomatizirano spremljanje stanja v centralni bazi ZK-točk. Hkrati pa bi bile take analitične vsebine, avtomatizirano vodene in prikazovane v programskih orodjih, podlaga za pripravo dela standardne vsebine strokovnih poročil v geodetskih elaboratih.

V slovenski geodetski službi namreč potrebujemo enotna pravila in tehnične specifikacije za stalno avtomatizirano spremljanje položajne kakovosti, točnosti in zanesljivosti v zemljiškem katastru. Postaviti jih je treba na Geodetski upravi RS z znanstveno in strokovno pomočjo FGG, Oddelka za geodezijo, Geodetskega inštituta Slovenije ter MSGeo sekcije pri Inženirski zbornici Slovenije.

Geodeti v Sloveniji res (še) nismo Švicarji (Triglav, 2014; DDPS, 2020; Steudler, 2019) in niti približno tudi ne Bavarci (Hampp in Glock, 2017; Glock in sod., 2019), ampak na njihovih in številnih drugih dobrih zgledih se vseeno lahko učimo, da ne bomo sami 'odkrivali tople vode'. Brez posebnega razmišljanja pa nam je verjetno jasno, da nas za približevanje našim strokovnim vzornikom v drugih evropskih državah čaka še veliko terenskih meritev v novem državnem koordinatnem sistemu D96/TM na čim večjem številu na terenu stabiliziranih točk obstoječe trigonometrične, navezovalne in poligonske geodetske mreže in ZK-točk, ki so bile izvorno izmerjene v starem državnem koordinatnem sistemu D48/GK. Za jasen, točen in zanesljiv pogled naprej v novem koordinatnem sistemu D96/TM bo za slovenske geodete še dolgo nujen temeljit pogled nazaj v stari koordinatni sistem D48/GK. Kot je bilo zapisano pred leti v zaključnem komentarju članka (Triglav, 2017), smo geodeti po prehodu v novi državni koordinatni sistem (cit.) »... torej mogoče na 'koncu začetka' tega dela. Za geodete je zdaj strokovno in znanstveno zelo zanimiv čas. Ampak to ni še nič v primerjavi s časom, ki prihaja v naslednjih letih in desetletjih – ta bo šele izredno zanimiv za nas!!«

Literatura in viri:

- Berk, S., Komadina, Ž., Triglav, J. (2011). Analiza skladnosti D48/GK- in D96/TM-koordinat zemljiškokatastrskih točk v Pomurju. *Geodetski vestnik*, 55 (2), 269–283. DOI: <http://doi.org/10.15292/geodetski-vestnik.2011.02.269-283>
- DDPS (2020). DDPS Technical Ordinance on Official Cadastral Surveying. <https://www.admin.ch/opc/en/classified-compilation/19940126/200807010000/211.432.21.pdf>, pridobljeno 02. 02. 2020.
- Glock, C., Bauer, R., Wunderlich, T., Pail, R., Bletzinger, K.-U. (2019). Das Ortra-Verfahren für die Überführung des Liegenschaftskatasters nach ETRS89/UTM in Bayern. *Zeitschrift für Geodäsie, Geoinformation und Landmanagement – zfv*, 144 (1), 25–40. DOI: <http://doi.org/10.12902/zfv-0237-2018>
- Hampp, D., Glock, C. (2017). Ein ausgeglichenes Bayern. DVW-Bayern, zv. 2, str. 105–126. <https://www.dvw.de/sites/default/files/landesverband/bayern/anhang/beitragskontext/2017/hampp.pdf>, pridobljeno 02. 02. 2020.
- Rotar, M., Murovec, K. (2019). Lokacijska izboljšava zemljiškokatastrskega prikaza. *Geodetski vestnik*, 63 (4), 554–567. http://www.geodetski-vestnik.com/63/4/gv63-4_rotar.pdf, pridobljeno 02. 02. 2020.
- Steudler, D. (2019). Macro-Economic Dimensions of the Swiss Cadastre – A few glimpses. PCC Conference 2019, Helsinki, Finska, 21. november 2019. https://eurogeographics.org/wp-content/uploads/2019/06/2_Switzerland_191121-Steudler-MacroEconomicDimension-SwissCadastre.pdf, pridobljeno 02. 02. 2020.
- Triglav, J. (2014). Kdo je to narredil? Eee ... Švicarji. *Geodetski vestnik*, 58 (2), 342–348. http://geodetski-vestnik.com/58/2/gv58-2_triglav2.pdf, pridobljeno 02. 02. 2020.
- Triglav, J. (2017). AnaliTra.SI – A ne na litre ... *Geodetski vestnik*, 61 (3), 461–468. http://www.geodetski-vestnik.com/61/3/gv61-3_triglav.pdf, pridobljeno 02. 02. 2020.

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

USMERITVE ZA ZAJEM, ODDAJO IN KONTROLO KAKOVOSTI PODATKOV ZRAČNEGA LASERSKEGA SKENIRANJA

GUIDELINES FOR DATA ACQUISITION, DELIVERY AND QUALITY CONTROL OF AERIAL LASER SCAN DATA

Katja Šušteršič, Luka Kocijančič

1 UVOD

Pri uporabi prostorskih podatkov na državni ravni oziroma podatkov, zajetih v okviru večjih naročil, so končni uporabniki lahko prepričani, da so bila v celotnem postopku izvedbe dogovorjena in izvajana merila za zagotavljanje kakovosti. Ne nazadnje imajo naročniki običajno vzpostavljene stroge metode kontrole, s katerimi zaznavajo in izločajo neprimerne podatke. Razpisi se običajno navezujejo na uveljavljene standarde, na primer standard ISO 19157 (2013) za področje zračnega laserskega skeniranja ali priporočila ASPRS (2013). Težave se pojavljajo na nižjih ravneh, kot so občine, zasebna podjetja, javni zavodi in ostali, ki uporabljajo naročila za zajem prostorskih podatkov, nimajo pa ustrezne strokovne podpore, da bi lahko naročila izvedli kakovostno in v skladu s svojimi potrebami. Namen tega članka je podati usmeritve za zajem, shranjevanje in kontrolo podatkov zračnega laserskega skeniranja za pomoč naročnikom.

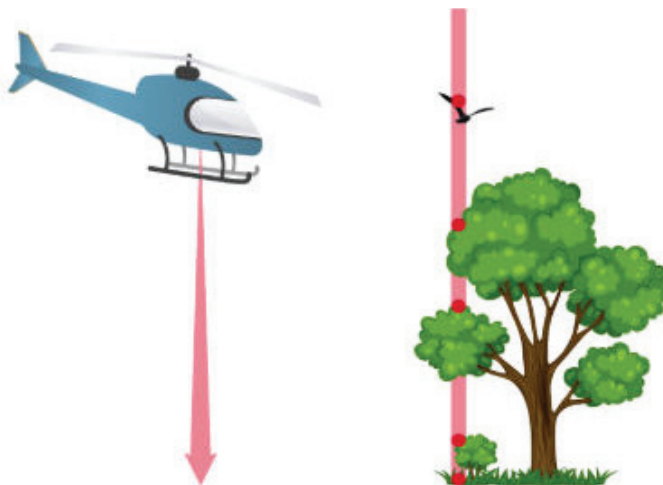
Na področju laserskega skeniranja se neprestano dogajajo spremembe, predvsem v opremi za zajem ter programski opremi za zajem in obdelavo podatkov. S tem se povečujejo tudi zahteve po natančnosti in posledično gostoti oblaka točk. Če je bil do nedavnega »standard« za snemanje večjih območij skeniranje z gostoto 5 točk na kvadratni meter, se ta z novimi tehnologijami zvišuje na 20 točk in več. Ravno zato je treba stalno spremljati razvoj tehnologije, se izobraževati in si izmenjevati informacije v stroki med zasebnim in javnim sektorjem, poleg tega je treba pomagati naročnikom, da bodo zadovoljni z dostavljenimi podatki. Avtorja članka predlagava, da bi pripravili ogrodje za naročila podatkov zračnega laserskega skeniranja manjših površin, v okviru katerega bi si naročnik in izvajalec izmenjala pomembnejše specifikacije in zahteve za zagotavljanje kakovosti podatkov.

2 KAKOVOST IN ZAJEM PODATKOV LASERSKEGA SKENIRANJA

Na področju daljinskega zaznavanja se vse bolj poudarja pomen kakovosti podatkov, saj podatki daljinskega zaznavanja postajajo vse pomembnejši pri načrtovanju in operativnih odločitvah javnih ustanov in zasebnih podjetij, poleg tega se uporabljajo v vse več digitalnih storitvah in aplikacijah. V zadnjih letih smo pri svojem delu opazili, da je tuji trg vse zahtevnejši, za enako ceno se namreč pričakuje večja kakovost podatkov in njihova obdelava v realnem času (angl. *real-time*). Vse to je mogoče, če so vzpostavljeni dobri postopki za kontrolo kakovosti podatkov in je zagotovljen zajem podatkov z najnovejšo opremo in primerno platformo. Za doseganje zahtevane natančnosti in ustreznosti podatkov za predvideni na-

men mora imeti naročnik ustrezno znanje in izkušnje. Naročniki v Sloveniji nimajo ustrezne strokovne podpore v obliki standardiziranega postopka, ki bi vključeval priporočila pri naročanju laserskega oblaka točk, prav tako ne pri uporabi teh podatkov.

Kakovost končnega izdelka, podatkov zračnega laserskega skeniranja, je pogojena s tehnično opremo, časom zajema in opredelitvijo gostote oblaka točk. Dobro poznavanje geomorfologije območja zajema je dragocena informacija, ki je pomembna pri interpretaciji podatkov (Grönlund, 2017; Heidemann, 2018). Za namen pridobitve najboljšega modela višin, ki je pogosto končni izdelek pri takšnem zajemu podatkov, morajo biti pogoji zajema takšni, da imajo laserski pulzi najboljšo možnost, da dosežejo tla (slika 1). Poleti listje in visoka podrast onemogočata laserskim pulzom prodor do tal. Jeseni doseganje tal onemogočajo visoko rastoča drevesa, čeprav je listje že odpadlo. Pozimi lahko povzroča težave snežna odeja, saj že nekajcentimtrska odeja da napačno predstavo o modelu višin. Spomladi obstaja možnost taljenja velikih količin snega in ledu. Reke imajo višji vodostaj, ponekod nastajajo lokalne poplave, zato skeniranje v takšnih razmerah ni priporočljivo. Časovno okno za kakovostno izvedbo zračnega laserskega skeniranja je torej zelo ozko. Zato se skeniranje priporoča zunaj rastne sezone, to je spomladi in pozno jeseni.



Slika 1: Oddani laserski žarek se vrne do senzorja kot serija različnih odbojev. Gosta vegetacija onemogoča učinkovit prodor laserskega pulza od tal.

Pri načrtovanju leta snemanja je treba izbrati pravilno višino in hitrost leta, pri tem pa se upoštevajo oziroma zagotovijo naslednji pogoji:

- zahteva po določitvi gostote točk za zadnji ali prvi odboj za območje celotnega zajema,
- upoštevanje hribovitiga terena in visokih predmetov, kot so zgradbe ali drevesa, za zagotovitev upodobitve vseh predmetov,
- zahteva po prekrivanju med linijami leta, ki mora biti vsaj 10 %, razen če stranka določi drugače,
- prečne linije je treba umestiti na obeh koncih snemanja, na večjih območjih pa tudi znotraj območja,
- prečne linije so postavljene čim bolj pod pravim kotom na linije leta, nad kontrolnimi točkami, nad naselji in ne prek velikih vodnih površin,
- večkratno letenje enake linije ni dovoljeno za povečanje gostote točk.

Ciljna ocenjena točnost, razdeljena glede na gostoto točk in opredeljena glede na naše izkušnje, je opisana v preglednici 1.

Preglednica 1: Predlagana točnost glede na gostoto točk (vir: Flycom Technologies d.o.o.).

Parameter	Verzija 1	Verzija 2	Verzija 3
Gostota točk (tč/m ²)	1–6	6–15	20 ali več
Planimetrična/ višinska točnost (m)	0,20/0,10	0,15/0,075	0,07/0,05
Dovoljen kot snemanja	+/- 30°	+/- 20°	–

Če predpostavimo, da vse točke prodrejo do tal (trda podlaga brez rastja), lahko razmerje med gostoto točk in povprečno razdaljo med dvema točkama opišemo, kot je navedeno v preglednici 2.

$$\text{Razdalja med točkami} = \sqrt{\text{gostota točk}}$$

Preglednica 2: Razdalje med točkami glede na gostoto točk.

Točke/m ²	Razdalja med točkami (m)
32	0,18
16	0,25
8	0,35
4	0,50
2	0,71
1	1,00
0,5	1,41

Glede na zahtevano gostoto točk se naročnik posvetuje z izvajalcem o postavitvi in številu kontrolnih točk. Kontrolne točke se postavijo na že v naravi obstoječe elemente, kot so talne označbe na trdi podlagi ali pokrovi jaškov. Pri veliki gostoti točk se lahko dodatno postavijo signali.

3 KONTROLA KAKOVOSTI PODATKOV

Kljub precej množični uporabi podatkov zračnega laserskega skeniranja v splošnem primanjkuje predvsem hitrih in odprtokodnih programov za kontrolo njihove kakovosti. Pri nadzoru opravljene kalibracije laserskega sistema je postopek precej enostaven in ga je mogoče kontrolirati na vsakem koraku, metoda sama pa je popisana in urejena s predhodno določenimi postopki. Po drugi strani pa se v zvezi s kontrolo položajne natančnosti in točnosti še vedno zanašamo na neodvisno določevanje koordinat kontrolnih točk in primerjavo oblaka laserskih točk z njimi. Čeprav takšen način prinaša tudi nekatere prednosti, se hitro pojavi težava izvedbe dovolj natančnih kontrolnih meritev, če niso bile uporabljene primerne tarče (stožci, odsevne tarče ...). Pri tem je treba upoštevati tudi metodo izmere kontrolnih točk.

Za praktično oceno kakovosti podatkov laserskega skeniranja, ki jih želimo uporabiti ali pa smo jih prejeli od ponudnika, se bomo v tem članku omejili predvsem na kontrolo gostote točk, položajno razporeditev točk in razdaljo med točkami, na ujemanje med posameznimi linijami snemanja ter preklpom med linijami skeniranja in nazadnje na kontrolo položajne točnosti oblaka točk (glej tudi Triglav Čekada, Crosilla in Kosmatin Fras, 2010; Rieger, 2012; Grönlund, 2017; Heidemann, 2018).

3.1 Dosežena gostota točk

Doseganje zahtevane gostote oblaka točk je eno od ključnih meril kakovosti opravljenega laserskega snemanja. Gostoto končnega oblaka točk je treba določiti predhodno, to je ob samem oddanem naročilu. Predhodno je tudi priporočljivo, da se ob oddanem naročilu izvajalec in naročnik dogovorita o načinu kontrole dosežene gostote. Različni načini kontrole lahko podajajo precej različne informacije o kakovosti gostote in so lahko vzrok za nesoglasja med izvajalcem in naročnikom. Običajno se za manjša območja snemanja uporablja ocena gostote za celico velikosti 10 m x 10 m. Iz ocene gostote točk moramo izločiti vodne ter steklene površine, saj tam zaradi fizikalnih omejitev laserskega skeniranja ne moremo pričakovati zadostnega števila odbojev.

Naslednje merilo ocene gostote je, katere točke iz oblaka točk vstopajo v oceno gostote. Ker imajo laserski skenerji možnost prejema več odbojev posameznega pulza, se običajno dogovori, da se v izračunu gostote upoštevajo samo zadnji odboji (angl. *last returns*). Lahko pa se seveda dogovorimo tudi za upoštevanje samo prvih odbojev (angl. *first returns*) ali vseh odbojev (angl. *all returns*). Bistveno je, da tako naročnik kot izvajalec že pred snemanjem vesta, katere odboje bosta kontrolirala.

Za dejansko oceno gostote oblaka točk si pripravimo statistične ocene in rastrske izrise, kjer za vsako rastrsko celico (velikosti 10 m x 10 m) izračunamo gostoto. S temi kazalniki kakovosti dobimo tudi prve informacije o opravljenem laserskem skeniranju. Pogosto uporabljena programska rešitev, ki pa v odprtokodnem načinu ne omogoča polne funkcionalnosti, je programsko orodje *LasTools* razvijalca *RapidLasso, GmBh*. Za uporabnike, ki se le redko srečujejo z večjo količino podatkov laserskega skeniranja, je dobrodošla tudi njegova povezljivost z odprtokodnim programom QGIS, saj skupaj omogočata analize in izdelavo ocen kakovosti, tudi gostote. Sicer pa so na trgu na voljo tudi druge programske rešitve s podobnimi funkcionalnostmi, na primer Global Mapper, ArcMap, TerraSolid itd.

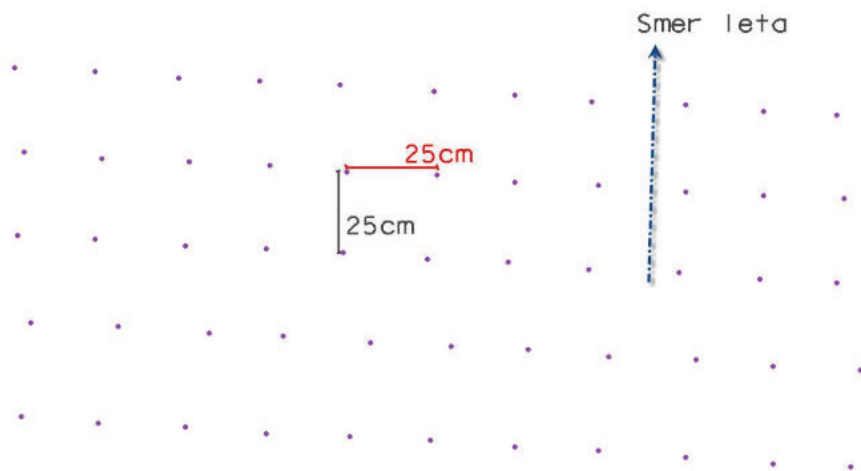
3.2 Razporeditev točk v oblaku ter razdalja med njimi

Pri zajemu oblaka točk bi moral vsak izvajalec težiti k čim enakomernejši porazdelitvi točk v samem oblaku. Na razporeditev točk vpliva več dejavnikov:

- izbrana gostota snemanja,
- vremenske razmere med snemanjem,
- uporabljeno letalo ali helikopter
- kakovost namestitve sistema v letalu ali helikopterju,
- izkušnost posadke letala ali helikopterja.

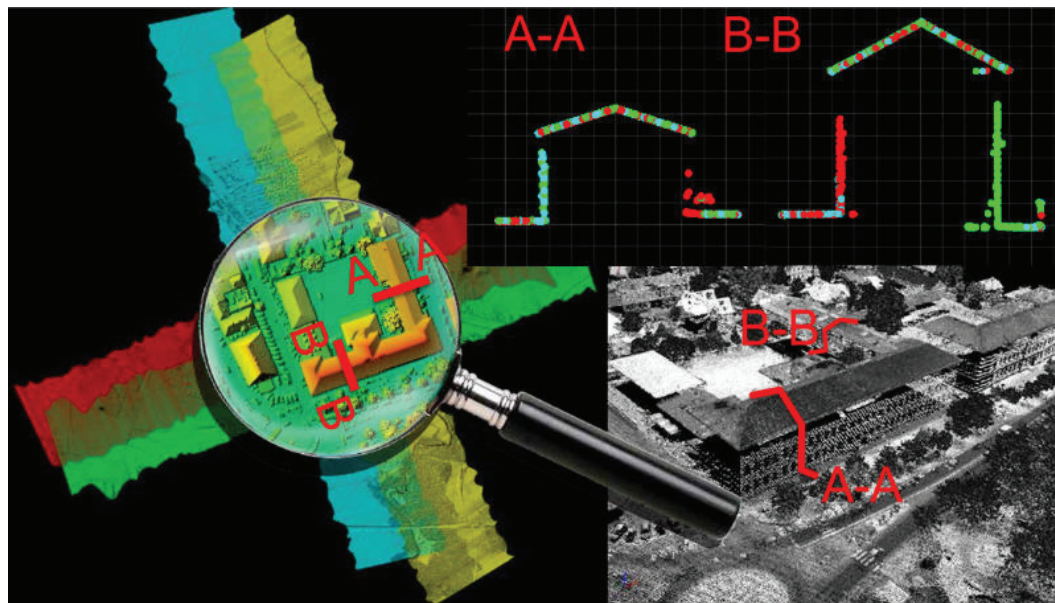
Gostota snemanja ima največji vpliv na položajno razporeditev točk, saj večja gostota pomeni manjšo razdaljo med točkami. Večinoma govorimo o snemanju z enakomerno porazdelitvijo, kar pomeni, da je razdalja med linijami točk in samimi točkami enaka. Drugi dejavniki, ki smo jih omenili, vplivajo predvsem na razdaljo med posameznimi linijami, saj je razdalja med točkami (prečno glede na smer leta) konstantna med linijami pri instrumentih, ki laserski pulz oddajajo prek rotirajoče prizme (na primer laserji proizvajalca Riegl). Vsi preostali dejavniki (vremenske razmere, namestitve, uporabljeno letalo ali helikopter in človeški vpliv) povzročajo nepotrebne vibracije sistema in tako privedejo do neenakomerne razdalje med linijami leta (razdalja med točkami v smeri leta).

Že pred snemanjem se moramo dogovoriti glede dovoljenih razdalj med točkami pred izvedbo snemanja, ravno tako glede načina kontrole. Kontrolira se lahko razdalja med točkami v posameznem pasu (angl. *stripe*) ali pa oddaljenost med točkami v končnem oblaku točk, običajno sestavljenem iz pasov snemanja, ki se med seboj prekrivajo. Načini kontrole so različni, od vizualne kontrole do ustreznih statističnih poročil, ki jih je na primer mogoče izdelati z uporabo programa LasTools.



Slika 2: Primer vizualne kontrole enakomernosti razporeditve oblaka točk znotraj enega pasu snemanja. Rdeče je označena razdalja med točkami prečno na let, črno pa razdalja med linijami leta v enem pasu snemanja.

3.3 Ujemanje med posameznimi linijami snemanja ter preklap med linijami skeniranja



Slika 3: Primer vizualne kontrole ujemanja med posameznimi pasovi snemanja – vsak pas je predstavljen z drugačno barvo (Rieger, 2012).

Ko govorimo o ujemanju med posameznimi linijami/pasovi snemanja, se osredotočamo na tisti del pasov, ki se med seboj prekrivajo. V idealnem svetu bi bilo ujemanje med pasovi samoumevno, vendar se zaradi različnih dejavnikov pojavljajo horizontalni in vertikalni zamiki. Končni uporabnik podatkov ne vpliva na to, saj mora ujemanje zagotoviti izvajalec snemanja z ustreznimi postopki kalibracije sistemov (letalo/helikopter, skener, inercialni navigacijski sistem, GNSS) in naknadnimi postopki iskanja veznih linij.

Kontrola ujemanja pasov se najlažje izvaja vizualno s pregledom prečnih prereзов dvokapnic, v programu LasTools si izdelamo rastrske predstavitve ujemanja za celotno območje itd. Pozorni smo predvsem na odstopanja, večja od določene vrednosti (v praksi pogosto več kot 5 centimetrov), saj kažejo na sistematične pogoške instrumentov, uporabljenih za snemanje. Pri oddaji naročila pa lahko zahtevamo od izvajalca tudi podatke o zadnji kalibraciji sistema, saj izvajalci običajno ne poskrbijo dovolj pogosto za kalibracije in je lahko vzrok za neujemanje med pasovi snemanja slaba montaža laserskega sistema (slika 3).

3.4 Kontrola položaja oblaka točk

Na kontrolo položaja oblaka točk neposredno vpliva kakovost izvedbe georeferenciranja, torej izračun trajektorije leta na podlagi meritev GNSS (angl. *global navigation satellite systems*) in inercialne navigacijske enote (INS). Ker pa podatke običajno potrebujemo v lokalnih koordinatnih sistemih, je lahko prisotna še napaka transformacije. Tokrat se ne bomo natančneje posvečali kontroli kakovosti georeferenciranja in napakam transformacije, saj je bilo več o tem zapisano v delu Brica, Berka in Triglav Čekada (2013).

Kot končni uporabnik georeferenciranega oblaka točk (tudi GOT) ločeno preverjamo (Bric, Berk in Triglav Čekada, 2013):

- horizontalno točnost položaja točk:
narava podatkov zračnega laserskega skeniranja ne omogoča enostavne določitve horizontalne točnosti položaja. Tako moramo pri ocenjevanju točnosti posegati po ročnih metodah, na primer z opazovanjem odstopanj na izbranih tarčah (stožcih, odsevnih tarčah ...), odstopanj na presekih dvokapnih streh in drugih topografskih objektov, ki jih prepoznavamo na sliki intenzitete laserskih odbojev. Tu imamo v mislih predvsem talne označbe, ki so dobro vidne, ker so poleg tega narisane na trdni podlagi, je identična točka uporabna tudi za oceno točnosti vertikalnega položaja oblaka točk;
- vertikalno točnost položaja:
za kontrolo točnosti višin se največkrat uporabi primerjava oblaka točk s terensko izmerjenimi kontrolnimi točkami. Za kontrolo na večjih površinah se za meritev kontrolnih točk največkrat uporablja GNSS-izmera. Uporabimo GNSS-metodo izmere, ki omogoča izmero več kontrolnih točk v kratkem času s trikrat boljšo točnostjo, kot je zahtevana za položajno točnost oblaka točk.

4 ODDAJA IN DOKUMENTIRANJE PODATKOV

Naročnik mora pred naročilom opredeliti:

- koordinatni sistem, v katerem želi podatke,
- format in verzijo podatkov,
- poimenovanje,
- geografsko razdelitev in velikost razdelitve listov (angl. *tileindex*).

Oblak točk laserskega skeniranja je oddan v formatu ASPRS LAS, verzijo formata določi naročnik. Za oblak točk, ki imajo na posamezno točko zapisano barvno vrednost (RGB), je potrebna oddaja v formatu LAS 1.2, verzija LAS 1.4 pa dodatno podpira še zapis RGB, NIR, širino pulza itd. Ker so datoteke LAS velike, je pogosto smiselna oddaja v zgoščenem formatu LAS. Trenutno sta na voljo dva formata, ki omogočata zgoščen zapis LAS, to sta LAZ in zLAS. LAZ je odprtokodni format, zLAS pa je produkt programskega orodja ERSI, zato ga vladne agencije, ki dajejo prednost odprtokodnim formatom, večinoma ne sprejemajo. Glede na gostoto točk se priporoča razdelitev na liste, kot je predstavljeno v preglednici 3.

Preglednica 3: Primer razdelitve na liste glede na gostoto točk. Zeleno obarvana polja prikazujejo priporočljivo velikost razreza na liste (vir: HMK - Flygburen laserskanning 2017).

Gostota točk/velikost listov	0,5p/m ²	6p/m ²	20 p/m ²
100 x 100 m	0,5 MB	4 MB	10 MB
500 x 500 m	10 MB	100 MB	200 MB
1000 x 1000 m	40 MB	400 MB	800 MB
2500 x 2500 m	250 MB	2500 MB	5000 MB

Vsaki liniji snemanja se lahko pripišejo metapodatki v formatu LAS. To so ID-linije, gostota točk, kot skeniranja, drugi parametri skeniranja, datum snemanja, začetni in končni čas snemanja, ID laserskega snemanja, programska oprema, uporabljena za obdelavo oblaka točk. Oddaja podatkov laserskega skeniranja mora biti tako:

- kontrolirana in popolna,
- v zahtevanem formatu in pravilni verziji formata,
- pravilno poimenovana,
- z vsemi metapodatki, ki jih določi naročnik.

Na koncu je izvajalec dolžan napisati poročilo, ki vsebuje vse informacije, kako se je zajem podatkov izvedel, obdelal in kako ga je kontroliral, da dosega zahtevano gostoto točk, položajno in višinsko točnost, da je izpolnil naročnikove zahteve.

5 SKLEP

Trg narekuje vse višjo kakovost prostorskih podatkov, pridobljeno v najkrajšem času za najnižjo ceno. Na državni ravni je dovolj strokovnjakov, ki lahko sledijo novim priporočilom in standardom na področju daljinskega zaznavanja in lahko preverijo, ali so bili podatki zajeti in dostavljeni po zahtevanih specifikacijah. Na lokalni ravni pa opažamo, da naročniki potrebujejo strokovno podporo. Ta je lahko zelo subjektivna, če jo naročniku zagotavlja samo izvajalec (ponudnik), zato bi bilo treba uvesti standardna priporočila za zajem podatkov zračnega laserskega skeniranja, ki bi bila v slovenskem jeziku in bi zajemala primer dobre prakse, saj bi lahko zelo koristila naročnikom. Takšen dokument bi sestavila stroka v sodelovanju z izvajalci. Naročnik bi tako lahko preprosto naročil podatke, za katere bo prepričan, da dosega zahtevano kakovost, hkrati pa bi lahko izvajal nepristranske kontrole kakovosti.

Literatura in viri:

ASPRS (2013). Accuracy Standards for Digital Geospatial Data. Photogrammetric engineering and remote sensing. <http://www.asprs.org/a/society/divisions/>

pad/Accuracy/Draft_ASPRS_Accuracy_Standards_for_Digital_Geospatial_Data_PE&RS.pdf, pridobljeno 26. 2. 2020.

Bric, V., Berk S., Čekada Triglav, M. (2013). Zagotavljanje kakovosti georeferenciranja podatkov aerolaserskega skeniranja za upravljanje voda. *Geodetski vestnik*, 57 (2), 271–285. http://geodetski-vestnik.com/cms/images/57/2/gv57-2_bric.pdf, pridobljeno 26. 2. 2020.

Grönlund, A. (2017). HMK - handbuk i mät och kartfrågor. Flytburen laserskanning.

Heidemann, H. K. (2018). Lidar Base Specification. National Geospatial Program. <https://pubs.usgs.gov/tm/11b4/pdf/tm11-B4.pdf>, pridobljeno 26. 2. 2020.

ISO 19157 (2013). Geographic information - Data quality.

Rieger, P. (2012). Quality Control and System Integration.

Triglav Čekada, M., Crosilla, F., Kosmatin Fras, F. (2010). Teoretična gostota lidarskih točk za topografsko kartiranje v največjih merilih. *Geodetski vestnik*, 54 (3), 389–402. http://www.geodetski-vestnik.com/54/3/gv54-3_389-402.pdf, pridobljeno 26. 2. 2020.

Katja Šušteršič, univ. dipl. inž. geod.

Flycom Technologies d.o.o.

Ljubljanska cesta 24a, SI-4000 Kranj

e-naslov: katja.sustersic@flycom.si

Luka Kocijančič, univ. dipl. inž. geod.

Flycom Technologies d.o.o.

Ljubljanska cesta 24a, SI-4000 Kranj

e-naslov: luka.kocijancic@flycom.si

IZDELAVA 3D-MODELA ZA VIZUALIZACIJO TERASE VINOTEKE NA LJUBLJANSKEM GRADU S 3DSURVEY 3D MODEL DEVELOPMENT FOR VISUALISATION OF WINE BAR'S TERRACE AT THE LJUBLJANA CASTLE WITH 3DSURVEY

Andrej Kerin, Marko Mesarič

Ljubljanski grad je ena izmed najpomembnejših turističnih znamenitosti Ljubljane, zato je zelo pomembno, da se ohrani v najboljši mogoči formi. Obnova Ljubljanskega gradu (slika 1) je že od leta 1963 projekt, ki ga financira Javni zavod Ljubljanski grad (Ljubljanski grad, 2020) in izvaja arhitekturni studio Ambient (Ambient, 2020). V okviru številnih dejavnosti za ohranjanje in promocijo te kulturne dediščine smo z uporabo terestričnega zajema oblaka točk s pametnim telefonom izdelali 3D-model terase vinoteke na Ljubljanskem gradu. Za obdelavo podatkov smo v celoti izkoristili program 3Dsurvey. Želeli smo ustvariti 3D-model terase vinoteke, ki ga bomo lahko v prihodnosti uporabili za vizualizacijo.



Slika 1: Pogled na Ljubljanski grad (vir: 3Dsurvey).

PAMETNI TELEFONI ZA IZDELAVO FOTOGRAMETRIČNEGA OBLAKA TOČK?

Obdelava fotografij, ki so bile zajete s pametnim telefonom, je temeljila na samodejnem fotogrametričnem zajemu, pri katerem uporabimo množico fotografij istega predmeta, posnetih iz različnih

zornih kotov, ter jih z izravnavo sestavimo v enoten model. Lahko bi rekli, da fotogrametrija že več desetletij predstavlja napredno tehniko pomembne metodologije za 3D-zajem množice podatkov in še danes, kljub uvajanju 3D-laserskega skeniranja, ne izgublja na veljavi. Fotogrametrično lahko zajamemo majhne predmete, kot so arheološke izkopenine, in dosegamo višjo kot milimetrsko natančnost, ali pa velike predmete, kot so zgradbe, naravno površje, infrastrukturni objekti, ki jih ni mogoče dovolj učinkovito zajemati z drugimi metodami. Poleg tega je fotogrametrična oprema cenovno vse dostopnejša.

Programska oprema za samodejno fotogrametrijo danes običajno deluje na naslednji način: programski algoritmi samodejno registrirajo skupne točke (vezne točke) med več slikami, pri čemer mora biti zagotovljeno vnaprej določeno prekrivanje, in nato v 3D-prostoru izračuna razdalje med njimi. Rezultat obdelave tako povezanih fotografij je oblak točk, ki ga lahko spremenite v 3D-mrežo. Za pravilno samodejno fotogrametrično obdelavo podatkov so zahtevani podatki na fotografijah, ki omogočajo kakovostno povezavo teh fotografij in izdelavo 3D-modela. Pri tem uporabljeni algoritmi za grajenje strukture iz gibanja (SfM) uporabljajo kot vezne točke naravne teksture, kot so tekstura kamna, naravnega terena in druge dobro prepoznane naravne elemnte. Posebne oznake, to so tarče, so uporabne za označevanje točk, ki so slabo vidne, ali če imamo opraviti z odsevno in/ali prozorno površino.

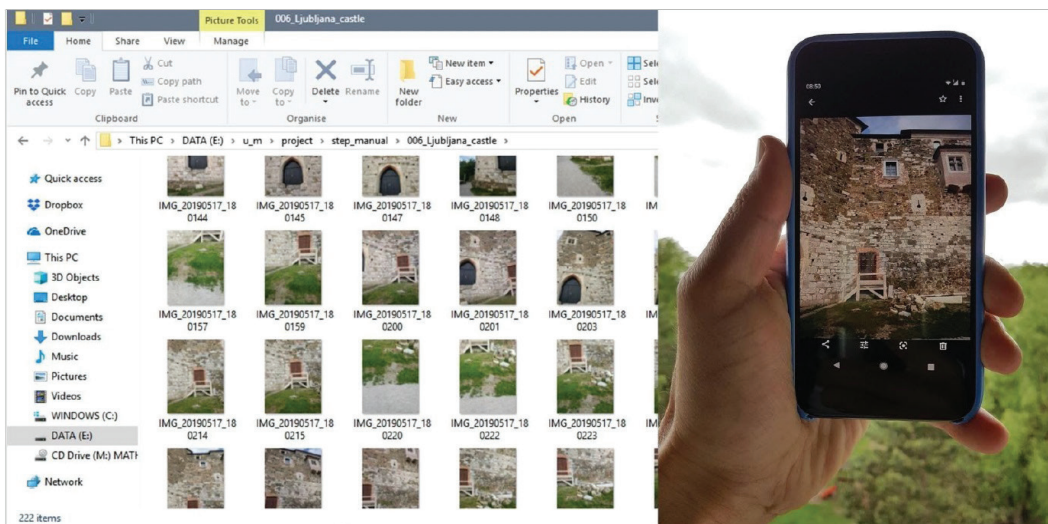
Podrobneje je uporabljena oprema predstavljena v preglednici 1. Za obdelavo podatkov smo uporabili programsko opremo 3Dsurvey, ki je komercialna rešitev za industrijske in inženirske potrebe in je zasnovana za ustvarjanje visokokakovostne 3D-mreže površja ali oblaka točk. Program ponuja tudi orodja za analizo podatkov v delovnem prostoru, ki uporabniku omogočajo med drugim enostavno izvajanje 2D- in 3D-izmere, izris načrta obravnavanega območja (tudi osnov za geodetski načrt), izračun prostorin (materiala), izračun profilnih linij na poljubnih območjih itn. Slednje rešitve pogosto uporabljajo infrastrukturna in gozdarska ter podobna podjetja.

Preglednica 1: Uporabljena oprema pri projektu »3D-model terase vinoteke Ljubljanski grad«.

Podrobnosti o projektu:	
Lokacija	Ljubljanski grad, Ljubljana
Strojna oprema	Pametni telefon Google Pixel 1
Programska oprema	3Dsurvey
Rezultat	3D model Interaktivni oblak točk

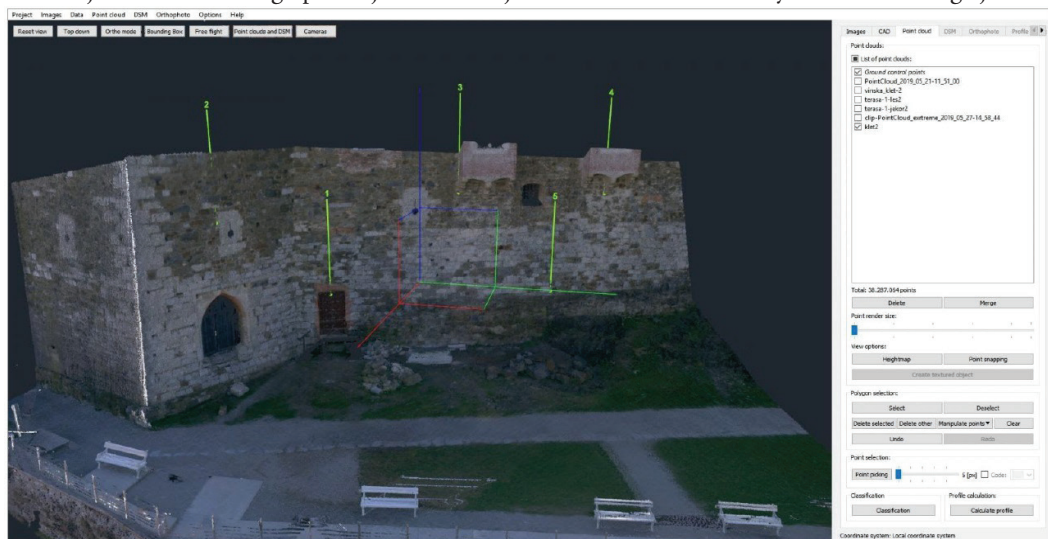
Velik izziv pri izdelavi 3D-modela obravnavanega objekta je bilo dejstvo, da ni viden navpično iz zraka. Ta del gradu namreč ni primeren za zračne posnetke, tako da so bile vse fotografije posnete z Googlovim pametnim telefonom od strani s tal – terestrično. Fasada ima obliko črke L, zato smo uporabili fotografije, posnete iz različnih zornih kotov.

Ustvarjanje visokokakovostnega fotogrametričnega oblaka točk le z uporabo fotoaparata pametnega telefona (slika 2) odpira neskončne možnosti, da ustvarimo 3D-modele objektov, ki jih je nemogoče posneti navpično iz zraka. S sorodno tehnologijo, to je terestričnim laserskim skeniranjem (TLS), bi za podoben rezultat potrebovali bistveno več časa, cena izvedbe pa bi bila kar deset- ali večkrat višja. Oprema TLS je namreč praviloma veliko dražja od opreme, ki se uporablja za bližje slikovne meritve.



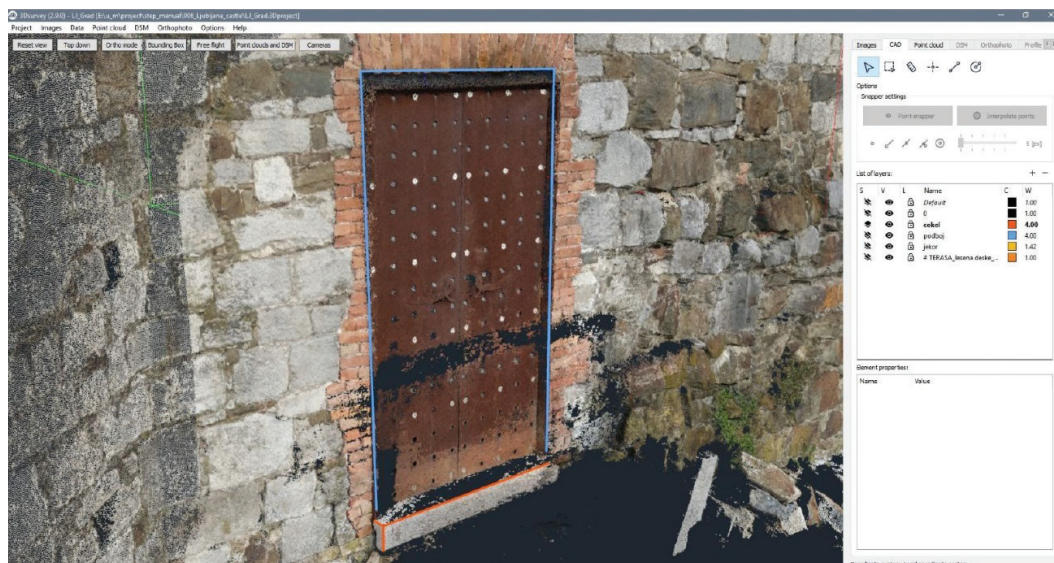
Slika 2: Fotografranje in shranjevanje fotografij s pametnim telefonom.

S pametnim telefonom smo posneli 205 fotografij. Da bi preverili skladnost oblaka dobljenega s programom 3Dsurvey, smo kot referenco uporabili oblak TLS. Orientacijo redkega oblaka smo izvedli na 7 oslonilnih točkah določenih iz dobro vidnih podrobnosti stene ter odprtih, kot so vrata in okna (slika 3). Po preverjanju rezultatov obdelave podatkov smo bili presenečeni nad dosežkom. Prostorska točnost celotnega modela je bila ocenjena na boljše od 12 milimetrov, kar je izredno dobro glede na to, da smo za orientacijo modela uporabili le 7 oslonilnih točk, ki so bile, to moramo izpostaviti, postavljene le v centralnem območju modela. Prostorsko točnost dodatno potrjuje zaznani odklon površine vrat pod ot. 2 – torej izven orientiranega področja. 3D razdalja med oblakoma 3Dsurvey in TLS znaša zgolj 2 cm.



Slika 3: Prikaz karakterističnih linij in točk, ki so bile uporabljene za orientacijo.

Kot primer navajamo izzive pri obdelavi vrat in praga (slika 4), ki peljeta v notranjost vinske kleti, saj ju je bilo najtežje modelirati. Tukaj smo uporabili dodatna orodja za računalniško načrtovanje CAD v okviru rešitve 3Dsurvey. Ta orodja so olajšala izris vrat ter praga kleti, tako da smo model izdelali s podrobnostjo in natančnostjo, kot jo je zahteval naročnik.



Slika 4: Modeliranje vrat in praga s CAD-orodji v okviru 3Dsurvey.

NAMESTO ZAKLJUČKA ...

V projektu smo torej uporabili terestrični zajem fotografij s pametnim telefonom, za obdelavo podatkov pa programsko opremo 3Dsurvey, ki jo praviloma uporabljamo za obdelavo fotografij, posnetih z letalniki. V obeh primerih je za doseg dobrega rezultata zelo pomemben senzor fotoaparata in določeno prekrivanje fotografij, posnetih iz različnih snemalnih položajev. Za doseg kakovostnega 3D-modela morajo fotografije imeti 70-odstotni preklap. To pomeni, da je vsak detalj iz narave viden na vsaj treh fotografijah. Uporaba fotogrametrije pri fotografijah, posnetih iz neposredne bližine objekta, je primerna za fotogrametrično modeliranje predvsem manjših objektov, teoretično lahko posnamemo tudi večje strukture, vendar so deli večjih objektov, kot so strehe, na terestrično posnetih fotografijah pogosto nevidni. V teh primerih je mogoče terestrično zajete fotografije dopolniti s fotografiranjem iz zraka. Tako je namreč mogoče zajeti večje strukture (zgradbe, površje, mesta). Desetletja je bila letalska oziroma aerofotogrametrija izredno draga, saj je bila povezana s profesionalnimi fotoaparati velikega formata, ki so bili nameščeni na letalih ali v helikopterjih. Aerofotogrametrija je zadnje čase že v dosegu manjših podjetij v številnih panogah, saj so lahko današnji manjši fotoaparati nameščeni na brezpilotnih letalnikih, ki pa so cenovno dostopni tudi manjšim podjetjem.

Uporabljena programska rešitev 3Dsurvey je bila razvita za namene geodetskih storitev, obdelavo in analizo prostorskih podatkov, zajetih s senzorji fotoaparata. Program omogoča obdelavo fotografij standardnih digitalnih fotoaparatorov, vsebuje namenska orodja za izdelavo ortofota, digitalnega modela površja ali izvajanje osnovnih merskih operacij, kot je na primer izračun prostornin objektov ali materialov. Poleg

vgrajenih algoritmov za samodejno obdelavo podatkov so na voljo integrirana orodja, ki med drugim zagotavljajo osnovne CAD-funkcionalnosti.

V predstavljenem projektu smo pokazali uporabnost programske rešitve 3DSurvey za obdelavo fotografij, zajetih s fotoaparatom pametnega telefona, ob upoštevanju pravil fotogrametričnega zajema. Čeprav je pristop relativno poceni in metodološko dobro poznan, ne poznamo veliko primerov iz prakse. Zato vas pozivamo, da nam pokažete, kaj ste že ali lahko storite z dosegljivo strojno in programsko opremo.

Literatura in viri:

Ambient (2020). Spletna stran podjetja Ambient d. o. o.

http://www.arhinfo.si/?m_id=biroji&id=46#ambient, pridobljeno 3. 3. 2020.

Ljubljanski grad (2020). Spletna stran javnega zavoda.

<https://www.bizi.si/LJUBLJANSKI-GRAD>, pridobljeno 3. 3. 2020.

3DSurvey (2020). Spletna stran programske opreme 3DSurvey.

<https://www.3dsurvey.si/>, pridobljeno 3. 3. 2020.

Marko Mesarič, univ. dipl. inž. geod.

3DSurvey (Modri planet d. o. o.)

Vojkova cesta 45, SI-1000 Ljubljana

e-naslov: marko.mesaric@3DSurvey.si

Andrej Kerin, univ. dipl. inž. geod.

3DSurvey (Modri planet d. o. o.)

Vojkova cesta 45, SI-1000 Ljubljana

e-naslov: geometer.kerin@gmail.com

25-LETNICA SPREJEMA SLOVENSKEGA ZDRUŽENJA ZA GEODEZIJO IN GEOFIZIKO (SZGG) V MEDNARODNO ZVEZO ZA GEODEZIJO IN GEOFIZIKO (IUGG)

25TH ANNIVERSARY OF THE SLOVENIAN ASSOCIATION OF GEODESY AND GEOPHYSICS MEMBERSHIP IN THE INTERNATIONAL UNION OF GEODESY AND GEOPHYSICS

Mihaela Triglav Čekada, Miran Kuhar, Bojan Stopar, Polona Vreča

Slovensko združenje za geodezijo in geofiziko (SZGG) povezuje člane različnih strok, ki preučujejo različne pojave na Zemlji – od geodezije, fizike, seizmologije, meteorologije, hidrologije, geologije do geografije. Pokriva področja, ki so razvrščena v naslednje sekcije: geodezijo, seizmologijo in fiziko notranjosti Zemlje, vulkanologijo in kemijo notranjosti Zemlje, geomagnetizem in aeronomijo, meteorologijo in atmosferske znanosti, hidrologijo, fizikalno oceanografijo in kriosfero. Združenje SZGG je bilo ustanovljeno 26. februarja 1993. Dve leti po tem, 2. julija 1995, je bilo sprejeto v Mednarodno zvezo za geodezijo in geofiziko (IUGG). V istem letu, 5. decembra 1995, so organizirali prvi letni posvet SZGG (Rakovec, 2020). Ker letos mineva 25 let od naše pridružitve IUGG ter tudi 25 let od izvedbe prvega letnega posveta, smo obletnici v čast 30. januarja 2020 priredili slavnostno akademijo SZGG. Ne nazadnje je lani praznovala častitljivo 100-letnico delovanja tudi mednarodna zveza IUGG (Ismail-Zadeh in Joselyn, 2019).

Vsakoletna strokovna srečanja SZGG že od samega začetka pomenijo priložnost za prikaz slovenskih znanstveno-raziskovalnih dosežkov s področij delovanja združenja. Na srečanjih so predstavljeni v obliki referatov in objavljeni v vsakoletnem tiskanem zborniku ter dostopni še na spletni strani SZGG (spletna stran SZGG, 2020). Poleg tega predstavniki sekcij na srečanju podajo poročila o delu posamezne sekcije v preteklem letu, ki so objavljena samo na spletni strani SZGG (spletna stran SZGG, 2020). V poročilih sekcij so našteje različne dejavnosti, ki so se izvajale v preteklem letu – od projektov, različnih sodelovanj do pomembnih objav – in so zato dragocen prerez preteklega dela na področjih različnih strok pod okriljem SZGG.

Letošnja slavnostna akademija s strokovnim posvetom je potekala na Fakulteti za gradbeništvo in geodezijo Univerze v Ljubljani, ki že tradicionalno gosti vsakoletna strokovna srečanja združenja, saj je geodezija že od same ustanovitve ena od gonilnih sil društva. Tako so bili med 12 ustanovnimi člani štirje geodeti, prvi podpredsednik združenja je bil prof. dr. Florjan Vodopivec, ki je bil tudi njegov predsednik v letih 1997–2000, od 1997. do 1999. je vodil sekcijo za geodezijo doc. dr. Miran Kuhar, tajnik združenja pa

je bil mag. Dušan Miškovič, od leta 2000 naprej pa je tajnik društva doc. dr. Miran Kuhar (Stopar et al., 2020). Poleg tega kar dve sekciji združenja trenutno vodita geodeta: prof. dr. Bojan Stopar sekcijo za geodezijo in doc. dr. Mihaela Triglav Čekada sekcijo za kriosfero. Geodeti pa so delovanje IUGG že pred ustanovitvijo SZGG redno spremljali. Že g. Marjan Jenko (1975) je v Geodetskem vestniku podrobno opisal svojo udeležbo na kongresu IUGG leta 1975 v Grenoblu, kjer je med drugim omenil, da je bila takrat mednarodna geodetska sekcija najštevilčnejša in najaktivnejša.

Na slavnostni akademiji je po uvodnem nagovoru predsednice združenja dr. Polone Vreča (slika 1) najprej zapel pevski zbor ARSO poje (slika 2), v katerem sodelujejo tudi nekateri zelo dejavni člani našega združenja iz sekcij za meteorologijo in seizmologijo. Sledilo je predavanje glavnega tajnika IUGG dr. Alexandra Rudloffa o zgodovini mednarodnega združenja IUGG (slika 3). Dr. Alexander Rudloff prihaja iz raziskovalnega središča Deutsches GeoForschung Zentrum v Potsdamu v Nemčiji, sredi leta 2019 je bil izvoljen za glavnega tajnika IUGG.

Dr. Alexander Rudloff in dr. Polona Vreča sta dolgoletnemu tajniku slovenskega združenja doc. dr. Miranu Kuharju podelila plaketo s častnim članstvom (slika 4).

Zgodovino združenja je predstavil prof. dr. Jože Rakovec, ki spada med njegove ustanovne člane, bil je predstavnik sekcije za meteorologijo in v letih 2010–2014 predsednik združenja ter je ne nazadnje tudi njegov častni član (slika 5). Sledile so predstavitve pomembnejših dosežkov sekcij združenja od ustanovitve do danes. Tako je prof. dr. Bojan Stopar predstavil najpomembnejše dosežke sekcije za geodezijo, mag. Ina Cecič je v okviru sekcije za seizmologijo predstavila moč neinstrumentalnih seizmoloških podatkov, ddr. Rudi Čop je predstavil najpomembnejše dosežke sekcije za geomagnetizem in aeronomijo, Jure Jerman je orisal najpomembnejše dosežke sekcije za meteorologijo, prof. dr. Mitja Brilly je spregovoril o najpomembnejših dosežkih sekcije za hidrologijo, prof. dr. Vlado Malačič je podal oris razvoja fizikalne oceanografije, doc. dr. Mihaela Triglav Čekada pa je prikazala skupno vizualizacijo dolgoročnega spreminjanja meteoroloških parametrov in zmanjševanja Triglavskega ledenika v okviru sekcije za kriosfero.

Slavnostne akademije se je udeležilo prek 50 članov in članic SZGG, gostov iz Agencije RS za okolje ter Slovenskega meteorološkega društva in drugih (slika 6).

Poleg predstavitev na sami akademiji so člani sekcij ob jubilejnem dogodku pripravili še zgodovinski pregled delovanja posamezne sekcije od ustanovitve do danes, ki je tiskan v zborniku oziroma objavljen na spletni strani SZGG (Kuhar et al., 2020; spletna stran SZGG, 2020). Na spletni strani SZGG najdemo še letno poročilo o delovanju posameznih sekcij v letu 2019 (spletna stran SZGG, 2020).

Odmoru s pogostitvijo je sledila vsakoletna skupščina društva ter tradicionalni strokovni posvet Raziskave s področja geodezije in geofizike v letu 2019, na katerem je bilo predstavljenih sedem referatov, ki so prav tako tiskani v zborniku in objavljeni na spletni strani SZGG (Kuhar et al., 2020; spletna stran SZGG, 2020).

Namesto zaključka pa še povabilo našega slavnostnega govorca dr. Alexandra Rudloffa na naslednji kongres mednarodnega združenja IUGG, ki pokriva ista področja kot naše nacionalno združenje in bo potekal leta 2023 v Berlinu. Lepo vabljeni. Vabljeni ste tudi na naslednje srečanje slovenskega združenja, ki bo tradicionalno potekalo konec januarja 2021.



Slika 1: Uvodni nagovor predsednice SZGG dr. Polone Vreča (foto: Igor Karničnik).



Slika 2: Zbor ARSO poje (foto: Igor Karničnik).



Slika 3: Predavanje slavnostnega gosta dr. Alexandra Rudloffa, glavnega tajnika mednarodne zveze za geodezijo in geofiziko IUGG (foto: Igor Karničnik).



Slika 4: Podelitev častnega članstva dr. Miranu Kuharju, ob njem predsednica SZGG dr. Polona Vreča in glavni tajnik IUGG dr. Alexander Rudloff (foto: Igor Karničnik).



Slika 5: Pregled zgodovine delovanja združenja je podal prof. dr. Jože Rakovec, ustanovni in častni član združenja (foto: Igor Karničnik).



Slika 6: Skupinska fotografija udeležencev na slavnostni akademiji društva SZGG (foto: Igor Karničnik).

Literatura in viri:

- Ismail-Zadeh, A., Joselyn, J. A. (ur.), (2019). The International Union of Geodesy and Geophysics: from different spheres to a common globe. 177 str., https://www.hist-geo-space-sci.net/special_issue996.html, pridobljeno 6. 2. 2020.
- Jenko, M. (1975). Beležke s XVI. Kongresa mednarodne geodetske in geofizikalne unije. Geodetski vestnik, 19 (4), 42–45.
- Kuhar, M., Vreča, P., Zupančič, P., Čop, R., Šraj, M., Ličer, M., Skok, G., Stopar, B., Čarman, M., Triglav Čekada, M. (ur.), (2020). Raziskave s področja geodezije in geofizike 2019: zbornik del, 25. srečanje Slovenskega združenja za geodezijo in geofiziko, Ljubljana, 30. januar 2020, 146 str.
- Rakovec, J. (2020). Ob 25-letnici včlanitve Slovenskega združenja za geodezijo in geofiziko SZGG v Mednarodno zvezo za geodezijo in geofiziko (IUGG). Raziskave s področja geodezije in geofizike 2019: zbornik del, 25. srečanje Slovenskega združenja za geodezijo in geofiziko, Ljubljana, 30. januar 2020, 81–86.
- Spletna stran SZGG (2020). Spletna stran Slovenskega združenja za geodezijo in geofiziko, <http://fgg-web.fgg.uni-lj.si/SUGG/>, pridobljeno 6. 2. 2020.
- Stopar, B., Koler, B., Strle, O., Kuhar, M., Pavlovčič Prešeren, P., Berk, S., Medved, K., Radovan, D. (2020). Pregled delovanja sekcije Geodezija Slovenskega združenja za geodezijo in geofiziko v obdobju 1993–2019. Raziskave s področja geodezije in geofizike 2019: zbornik del, 25. srečanje Slovenskega združenja za geodezijo in geofiziko, Ljubljana, 30. januar 2020, 87–99.

doc. dr. Mihaela Triglav Čekada, univ. dipl. inž. geod.

Geodetski inštitut Slovenije
Jamova 2, SI-1000 Ljubljana, Slovenija
e-naslov: mihaela.triglav@gis.si

doc. dr. Miran Kuhar, univ. dipl. inž. geod.

Univerza v Ljubljani, Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo
Jamova cesta 2, SI-1000 Ljubljana
e-naslov: miran.kuhar@fgg.uni-lj.si

prof. dr. Bojan Stopar, univ. dipl. inž. geod.

Univerza v Ljubljani, Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo
Jamova cesta 2, SI-1000 Ljubljana
e-naslov: bojan.stopar@fgg.uni-lj.si

dr. Polona Vreča, univ. dipl. inž. geol.

Institut Jožef Stefan
Jamova cesta 39, SI-1000 Ljubljana
e-naslov: polona.vreca@ijs.si

NOVICE IZ STROKE NEWS FROM THE FIELD



REPUBLIKA SLOVENIJA
MINISTRSTVO ZA OKOLJE IN PROSTOR

GEODETSKA UPRAVA REPUBLIKE SLOVENIJE

NOVICE GEODETSKE UPRAVE RS

VLADA RS SPREJELA UREDBO O DOLOČITVI MODELOV VREDNOTENJA NEPREMIČNIN

Vlada RS je na seji dne 12. 3. 2020 sprejela Uredbo o določitvi modelov vrednotenja nepremičnin, s katero se zaključuje cikel oblikovanja modelov vrednotenja. Uredba določa modele vrednotenja skladno z zakonskimi merili. Za vsak model vrednotenja uredba določa: pripadajoče klasifikacije namenske in dejanske rabe, območja vrednostnih con in vrednostnih ravni, formule, tabele, točkovnike, faktorje in grafe, način uporabe teh elementov, datum modelov vrednotenja ter podatke za pripis posplošene vrednosti.

Množično vrednotenje nepremičnin je predvsem namenjeno izvajanju javnih funkcij države in občin, zato se uporablja za različne statistične namene, za upravljanje javnega premoženja, pa tudi za ugotavljanje premoženja lastnikov v različnih upravnih postopkih, kot so ugotavljanje upravičenosti do socialnih transferjev in podobno. Množično vrednotenje nepremičnin je pomembno tudi za zagotavljanje preglednosti trga nepremičnin in še bi lahko naštevali. Geodetska uprava RS je predlog modelov vrednotenja nepremičnin za sprejetje na vladi RS pripravila po posvetovanju s strokovno javnostjo, sodelovanju z občinami pri pripravi predloga modelov vrednotenja, javni razgrnitvi in javni predstavitvi predloga modelov vrednotenja nepremičnin ter poskusnem izračunu posplošene vrednosti.



Slika 1: Načrt uvedbe novih modelov množičnega vrednotenja nepremičnin (vir: geodetska uprava RS).

V skladu z določili Zakona o množičnem vrednotenju nepremičnin (ZMVN-1), ki opredeljuje izvajanje množičnega vrednotenja nepremičnin, bodo vsi lastniki nepremičnin predvidoma v aprilu 2020 prejeli zbirno potrdilo o vrednostih vseh nepremičnin. Lastniki nepremičnin lahko še naprej nemoteno urejajo podatke o svojih nepremičninah, saj gre za redne upravne naloge Geodetske uprave RS. Več informacij je na voljo na Portalu množičnega vrednotenja: <https://www.mvn.e-prostor.gov.si>.

Za vsebinsko pomoč in vprašanja so vzpostavljene kontaktne točke:

- klicni center 080 20 09,
- poštni naslov Geodetska uprava RS – Vrednotenje, p. p. 35, 1001 Ljubljana in
- elektronski naslov vrednotenje@gov.si.

Vir: Geodetska uprava RS, <https://www.gov.si/drzavni-organi/organi-v-sestavi/geodetska-uprava/>

POROČILO O JAVNI RAZGRNITVI MODELOV MNOŽIČNEGA VREDNOTENJA NEPREMIČNIN

Geodetska uprava RS je objavila Poročilo o izvedeni javni razgrnitvi predloga modelov vrednotenja nepremičnin in stališčih do prejetih pripomb, s katerim uspešno zaključuje dejavnosti javne razgrnitve predloga modelov vrednotenja v okviru drugega cikla množičnega vrednotenja nepremičnin.



Slika 2: Portal množičnega vrednotenja nepremičnin: <https://www.mvn.e-prostor.gov.si/>.

Geodetska uprava je obravnavala 374 pripomb na modele vrednotenja in 1621 pripomb na vrednostne cone in vrednostne ravni, ki so jih posredovale občine. Pripombe so bile proučene na podlagi meril množičnega vrednotenja nepremičnin, določenih z zakonom. Upoštewane pripombe, ki so vsebovale konkretne predloge in utemeljitve, so pripomogle k izboljšanju in optimizaciji predloga modelov vrednotenja nepremičnin, tako da je oblikovanih več vrednostnih con, izboljšane so meje vrednostnih con, izboljšan je način določitve vrednostnih con ter izboljšane in dopolnjene so posamezne sestavine modelov vrednotenja. Končni predlog modelov vrednotenja nepremičnin bo uveljavljen z Uredbo o določitvi modelov vrednotenja, ki jo bo sprejela vlada RS.

Odziv lastnikov nepremičnin, strokovne in laične javnosti je pozitivno presenetil, kar kaže na dobro organizacijsko pripravljenost Geodetske uprave RS, kjer sta bila ključna dejavnika klicni center in Portal množičnega vrednotenja nepremičnin ter kakovosten predlog modelov vrednotenja nepremičnin, ki ga

je uprava še izboljšala s predlogi iz javne razgrnitve, kot na primer model za kmetijska zemljišča in model za gozd, kjer se je pri prvem povečalo število vrednostnih con za dvakrat, pri drugem pa za več kot trikrat. Geodetska uprava RS korektno sodelovanje med deležniki v postopku množičnega vrednotenja nepremičnin razume kot spodbudo, da v naslednjih letih skupaj z drugimi pristojnimi ustanovami še izboljša in nadgradi sistem množičnega vrednotenja nepremičnin.

V postopku javne razgrnitve predloga modelov vrednotenja nepremičnin so lastniki nepremičnin in druga strokovna ter laična javnost lahko podali splošne pripombe na modele vrednotenja, ki jih je sprejemala geodetska uprava, ter pripombe na vrednostne cone in vrednostne ravni, ki so jih sprejemale občine. Predlog modelov vrednotenja nepremičnin je bil v vseh občinah javno razgrnjen od 1. do 30. oktobra 2019 ter tudi javno objavljen na spletnih straneh geodetske uprave v okviru Portala množičnega vrednotenja nepremičnin. Pripombe je bilo mogoče oddati do 15. novembra 2019. Poročilo o izvedeni javni razgrnitvi predloga modelov vrednotenja nepremičnin in stališčih do prejetih pripomb je objavljeno na Portalu množičnega vrednotenja nepremičnin.

Vir: Geodetska uprava RS, <https://www.mvn.e-prostor.gov.si/>.

KONFERENCA O KAKOVOSTI PROSTORSKIH PODATKOV

Tretjo zaporedno konferenco o kakovosti prostorskih podatkov sta ob sodelovanju OGC (angl. *Open Geospatial Consortium*), ISO (angl. *International Organization for Standardization*) in ICA (angl. *International Cartographic Association*) organizirala EuroGeographics in EuroSDR. Potekala je 28. in 29. januarja 2020 v kraju Valletta na Malti.

Nove tehnologije, nove možnosti, vse bolj zahtevni in usposobljeni uporabniki prinašajo ponudnikom prostorskih podatkov vedno znova nove izzive. Pričakuje se, da so prostorski podatki ažurni, pravilni, zanesljivi in nasploh ustrezne kakovosti ter tako primerni za kar najširšo uporabo. Prav tako se od ponudnikov podatkov zahteva, da ustrezno določijo oziroma potencialnim uporabnikom zagotovijo informacije o stopnji zaupanja, kakovosti, poreklu, ustreznosti, zanesljivosti ter ne nazadnje tudi vsebini geoprostorskih podatkov. Od upravljanja s kakovostjo podatkov v obliki nepovezanih (in dragih) projektov se napredni proizvajalci podatkov obračajo k celovitejšim pristopom. Ob skrbno izdelani strategiji kakovosti ter uporabi orodij za izvajanje avtomatiziranih postopkov zmanjšujejo stroške in čas, potreben za ohranjanje ustrezne kakovosti prostorskih podatkov, ter tako zagotavljajo, da so njihovi podatki vedno pravilni in pravočasni ter na voljo širokemu krogu uporabnikov. Izkušnje s projekti, orodji in raziskavami s področja kakovosti podatkov so bile tema dvodnevne konference.

Prvi sklop predstavitev je bil namenjen upravljanju kakovosti zbirk podatkov različnih virov. Med drugim so finski predstavniki predstavili vidike kakovosti pri nacionalni topografski bazi, za katero so vir podatki iz različnih okolij in z različno stopnjo kakovosti. V naslednjem sklopu je bilo obravnavano opredeljevanje kakovosti podatkov, predvsem v povezavi z rešitvijo *OpenStreet Map* in v povezavi s podatki BIM, kjer je bila posebna pozornost namenjena tudi poročanju o tematski pravilnosti in popolnosti vsebine topografskih podatkovnih zbirk. **Kakovost podatkov v e-upravi** je bila predstavljena s tremi referati, poudarjena je bila kakovost podatkov na splošno z vidika e-uprave. Poseben sklop je bil namenjen predstavitvi **revizije**

standarda ISO 19157:2013 *Geographic Information – Data Quality*. Vodja projekta pri ISO Torsten Svard je predstavil potek dejavnosti, časovne okvirje ter spremembe in dopolnitve, ki jih prinaša revizija tega standarda. Novi standard bo predvidoma dokončno potrjen julija 2022.

Sledil je sklop o **uradnih geoprostorskih podatkih**, kjer je *EuroGeographics* podal posodobljeno opredelitev ter predstavil lastnosti, ki jim morajo tovrstni podatki ustrezati. Poudarjena je bila potreba po ustreznosti kakovosti uradnih podatkov, njihovi zanesljivosti, dostopnosti, ažurnosti ter **obveznosti uporabe uradnih podatkov** – slednje je izrednega pomena. Sklop z novimi metodami za opredeljevanje oziroma merjenje kakovosti je prinesel zanimiv pogled na vrednotenje kakovosti modelov višin, matrike o tematski točnosti v kontrolah kakovosti ter, posebej zanimivo za slovenske ponudnike podatkov, o kreiranju **modelov kakovosti**. Kako do modelov kakovosti in kako ga upoštevati, s tem vprašanjem so se ukvarjali v posebnem projektu *EuroGeographicsa*, katerega rezultati so bili prav tako predstavljeni na konferenci. V zadnjem delu konference so sledili še različni primeri ravnanja s kakovostjo podatkov, kjer so bili predstavljeni pristopi Malte, Hrvaške, Nizozemske in Danske.

Opisane dejavnosti, dosežki in novosti podajajo možnosti, kako lahko ponudniki prostorskih podatkov bolje vključimo načela kakovosti podatkov v procese načrtovanja, izdelave, vzdrževanja in zagotavljanja dostopa do prostorskih podatkov. Veliko nadzornih mehanizmov za zagotavljanje kakovosti podatkov se dejansko že izvaja – različno v različnih okoljih, vendar bi bilo treba te postopke in dejavnosti prevesti v mednarodni in standardiziran jezik o kakovosti geoprostorskih podatkov ter jih dopolniti z manjkajočimi kazalniki in poročili. Prav tako bi bilo pri produkciji prostorskih podatkov smiselno oziroma nujno začeti uvajati strategijo zagotavljanja kakovosti in modele kakovosti, ki so osnovni pogoj za določanje, ocenjevanje, dokumentiranje in predstavitev kakovosti zbirk prostorskih podatkov ter z njimi povezanih storitev.

mag. Irena Ažman, za Geodetsko upravo RS

e-naslov: irena.azman@gov.si

SREČANJE Z GENERALNIM DIREKTORJEM DRŽAVNE GEODETSKE UPRAVE REPUBLIKE HRVAŠKE IN OBISK PREDSTAVNIKOV REPUBLIKE SEVERNE MAKEDONIJE

Generalni direktor geodetske uprave Republike Slovenije Tomaž Petek je 28. januarja 2020 na delovnem obisku sprejel generalnega direktorja državne geodetske uprave Republike Hrvaške Damirja Šanteka. Med srečanjem so bile obravnavane aktivnosti, ki jih obe upravi v tem trenutku izvajata na področju homogenizacije katastrskih podatkov, in izkušnje, ki jih ima Slovenija na področju množičnega vrednotenja nepremičnin.

Konec januarja je geodetsko upravo RS obiskala tudi delegacija Agencije za kataster nepremičnin Republike Severne Makedonije. Namen obiska je bila seznanitev z vsebino in vmesnimi rezultati programa projektov eProstor. Udeležence sta sprejela generalni direktor Tomaž Petek in njegova namestnica mag. Erna Flogie Dolinar. Med razpravo je bilo največ pozornosti namenjene področju informacijske prenovе nepremičninskih evidenc in vsebini prostorskega informacijskega sistema, ki se vzpostavljata v okviru programa projektov eProstor.



Slika 3: Obisk delegacije Agencije za kataster nepremičnin Republike Severne Makedonije.

Vir: Geodetska uprava RS, <https://www.gov.si/drzavni-organi/organi-v-sestavi/geodetska-uprava/>.



NOVICE INŽENIRSKKE ZBORNICE SLOVENIJE

SVETOVNI DAN INŽENIRJEV – TUDI GEODETI SMO PRAZNOVALI

UNESCOVA generalna skupščina je lani novembra potrdila 4. marec za dan inženirjev. Ta dan je bil izbran zato, ker je bila 4. marca pred petdesetimi leti ustanovljena Svetovna zveza inženirskih organizacij (WFEO), ki je tudi predlagala ustanovitev svetovnega inženirskega dneva. Svetovni inženirski dan naj bi bil namenjen izpostavljanju dosežkov in izboljšanju zavedanja javnosti, da sta inženirstvo in tehnologija v središču trajnostnega razvoja, ki ni mogoč brez inženirjev, dan naj bi bil udeležen s koordiniranimi dogodki po vsem svetu. Inženirska zbornica Slovenije (IZS) je pripravila na ta dan celodnevno izobraževanje v Cankarjevem domu, ki se ga je skupaj udeležilo več kot tisoč pooblaščenih inženirjev. Dopoldanska predavanja so bila skupna za vse inženirje, v popoldanskem delu pa si je vsaka od matičnih sekcij organizirala svoja vsebinsko aktualna predavanja.

Rdeča nit dopoldanskega plenarnega dela in skupnih izobraževanj je bilo integralno projektiranje in pristop informacijskega modeliranja BIM (angl. *Building Information Modelling*). V naslednjih letih se v Sloveniji pričakuje gradnja kar precejšnjega števila predorov, zato so udeleženci z zanimanjem prisluhnili predavanju vodje projekta pri gradnji 27 kilometrov dolgega železniškega predora Semmerig v Avstriji. Predavanja so se zaključila z okroglo mizo z velikimi javnim investitorji (direktor 2TDK, direktor HESS in direktor Stanovanjskega sklada RS), ki so predstavili svoje poglede in izkušnje o integralnem projektiranju in vodenju projektov.

Zagotovo lahko na podlagi vseh predavanj izpostavimo, da nam BIM, ki je temelj za integralno projektiranje, gradnjo in upravljanje zgradb, prinaša transparentnost, enakopravno sodelovanje vseh strok, kjer je uspeh projekta odvisen od kakovosti »najšibkejšega člana v verigi«. Vsekakor je treba izpostaviti, da je pojem »prevladujoča stroka«, uzakonjen v aktualni gradbeni zakonodaji, v nasprotju s pristopom BIM.



Slika 1: Udeleženci skupnega dopoldanskega dela.



Slika 2: Udeleženci popoldanske geodetske sekcije.

Matična sekcija geodetov je pripravila popoldanski del izobraževanja, ki se ga je udeležilo nekaj čez 60

pooblaščenih geodetov. Vsebinsko so bila predavanja razdeljena na dva dela. V prvem delu se so navezovala na osrednjo vsebino inženirskega dneva, v drugem delu pa so bile predstavljene predvidene in aktualne novosti v povezavi z evidentiranjem nepremičnin. Osrednje predavanje sta pripravila prof. Bojan Stopar in dr. Božo Koler, saj je kakovosten in stabilen prostorski koordinatni sistem zagotovo podlaga za vzpostavitev in vzdrževanje integralnega digitalnega modela grajenega okolja oziroma virtualnega dvojčka, ki se vzpostavi pred začetkom gradnje in vzdržuje celotno življenjsko dobo objekta. Kakovostne geodetske podlage dobivajo kljub ne tako trdni zakonski regulativi, kot je bila v prejšnji gradbeni zakonodaji, vse večji pomen. Projektna dokumentacija za izvedbo del je obvezna pri vsaki malo večji gradnji ali posegu v prostor. Vse bolj avtomatizirana in nadzorovana gradnja pa zahteva kakovostne vhodne podatke.

V nadaljevanju izobraževanj so predstavnice Geodetske uprave Republike Slovenije predstavile potek informacijske prenovе in potek sprejemanja novega krovnega zakona na področju katastra nepremičnin. Udeležencem (izvajalcem geodetskih storitev) je bila predstavljena aplikacija Kataster, nova enotna programska rešitev, ki jo bodo pri delu uporabljali tudi izvajalci katastrskih postopkov, predvsem pri fazah pridobivanja podatkov, oddaji in kontroli elaborata na Geodetsko upravo. Na koncu so bile predstavljene še spremembe Tehničnih specifikacij in spremembe v postopkih, vzdrževanju bonitet in spremembe pri izdelavi elaborata bonitiranja. Čeprav je bonitiranje v strokovni domeni drugih strokovnjakov, je tematika aktualna in je med občinstvom sprožila precej razburjenja in odzivov, saj se nas večina premalo zaveda vpliva bonitetnih točk v različnih življenjskih situacijah, kot so gradnja, prodaje, dedovanja ipd.

Izobraževalno in vsebinsko pester dan se je sklenil z druženjem v avli Cankarjeva doma, kjer je bilo še nekaj časa za neformalne strokovne razprave. Večina se nas je strinjala, da so tovrstni dogodki zelo dobrodošli v izobraževalnem smislu, poleg tega pa dogodek ponuja dobre možnosti za mreženje ter izmenjavo znanja in izkušenj s preostalimi strokami in v tem smislu bomo geodeti tudi predlagali spremembe za 2. slovenski inženirski dan. Več o dogodku si lahko preberete tudi na spletnih straneh IZS (www.izs.si).

Matej Kovačič, za Inženirsko zbornico Slovenije – MSGeo

e-naslov: matej.kovacic@gz-ce.si



NOVICE FAKULTETE ZA GRADBENIŠTVO IN GEODEZIJO UNIVERZE V LJUBLJANI

SLOVENIJA PREK FAKULTETE ZA GRADBENIŠTVO IN GEODEZIJO PRI UNIVERZI V LJUBLJANI TUDI V OGC



Univerza v Ljubljani, Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo, je 1. 1. 2020 kot prva institucija iz Slovenije postala članica konzorcija OGC® (angl. *Open Geospatial Consortium*). OGC je neprofitna, vodilna mednarodna organizacija za standardizacijo na področju geoprostorskih in lokacijskih storitev. Konzorcij je bil sicer ustanovljen že daljnjega leta 1994 in ima več kot petsto članov, med katerimi je

osem strateških partnerjev in trinajst glavnih partnerjev, nekaj več kot sedemdeset tehničnih partnerjev, več kot sto je pridruženih članic, več kot petdeset članic je vladnih organizacij, včlanjenih je tudi približno petdeset majhnih podjetij ter nekaj manj kot sto univerz oziroma drugih akademskih institucij.

OGC je v osnovi mednarodni forum za izmenjavo in razvoj odprtih rešitev, specifikacij in standardov na področju geoinformatike, ki omogočajo medopravilne prostorsko-informacijske spletne, brezžične in lokacijske storitve. Do danes je konzorcij sprejel več kot petdeset odprtih standardov in obravnaval približno sto medopravilnih pobud. Med najbolj prepoznavnimi standardi so zagotovo GML, CityGML, IndoorGML, LAS, KML, WMS, WFS, WCS itn. Nekateri od teh so s časovnim zamikom postali tudi mednarodni standardi ISO. Poleg delovanja na področju standardizacije v geoinformatiki se v okviru OGC razvijajo inovativne geoinformacijske rešitve; delo je organizirano v obliki posebnih delovnih skupin, ki na temelju zastavljenega problema oziroma naloge razvijajo nove rešitve. Velik poudarek je na promocijskih dejavnostih in prenosu znanja v prakso, tako je poleg rednih četrtletnih srečanj članov OGC organiziranih več delavnic in konferenc.

Kontaktna točka za UL FGG sta Anka Lisec (za vsebinske zadeve) in Romana Hudin (za administrativne zadeve). Več informacij o samem konzorciju je mogoče najti na spletni strani konzorcija: <https://www.ogc.org/>.

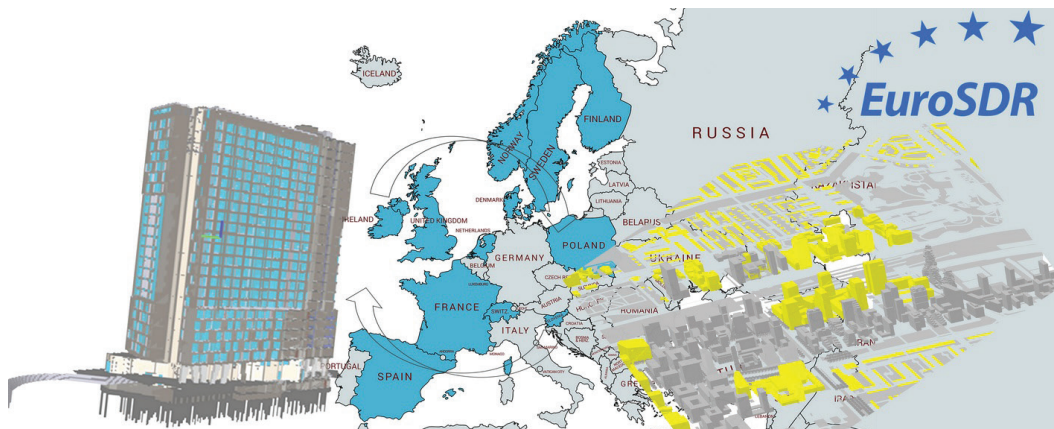
dr. Anka Lisec, za Univerzo v Ljubljani, Fakulteto za gradbeništvo in geodezijo

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

GEOBIM IN EVROPSKA MREŽA V PODPORO DIGITALIZACIJI IZDAJANJA GRADBENEGA DOVOLJENJA

Univerza v Ljubljani, Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo (UL FGG), se je vključila v evropsko mrežo za razvoj podatkovne podpore pri digitalnem izdajanju gradbenih in uporabnih dovoljenj (angl. *European Network for Digital Building Permits*), ki je bila ustanovljena 4. februarja 2020. Mreža je nastala na pobudo institucij, ki so sodelovale v evropskem projektu *GeoBIM* evropskega združenja akademskih in vladnih institucij s področja geodezije in geoinformatike *EuroSDR*.

Namen dvoletnega projekta združenja *EuroSDR* (2018–2020), kjer sta iz Slovenije sodelovali UL FGG in Geodetski inštitut Slovenije (GIS), je bil preučiti medopravilnost na področju 3D-modeliranja stavb in mest – tako na procesni kot na podatkovni ravni. V okviru projekta je bila izvedena raziskava poznavanja in uporabe koncepta GeoBIM, v katero so bili vključeni predstavniki gradbenih in projektantskih podjetij, geodetskih uprav in geodetskih podjetij, upravnikov večjih nepremičnin. Vzporedno s projektom je koordinator projekta, to je TU Delft iz Nizozemske, organiziral *GeoBIM benchmark*, s katerim smo ugotavljali stanje na področjih programskih rešitev na področju informacijskega modeliranja stavb BIM (angl. *building information modeling*), možnosti georeferenciranja BIM-podatkov, podpore za standard CityGML v programskih rešitvah geografskih informacijskih sistemov GIS in kakšne so možnosti pretvorbe podatkov iz obeh domen (BIM in GIS), ki so skladni s standardoma IFC in CityGML.



Slika 1: Države, ki so sodelovale v projektu GeoBIM združenja EuroSDR: iz Slovenije sta sodelovali UL FGG in GIS (vir: <https://3d.bk.tudelft.nl/projects/euroedr-geobim/>).

Nova mednarodna mreža vključuje 19 akademskih in vladnih organizacij ter raziskovalnih ustanov, pridruženo pa sodeluje tudi EuroSDR. Več informacij je mogoče najti na spletni strani mreže: https://3d.bk.tudelft.nl/projects/eunet_bp/.

dr. Anka Lisec, za Univerzo v Ljubljani, Fakulteto za gradbeništvo in geodezijo

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

DRUŠTVENE NOVICE NEWS FROM SOCIETIES



NOVICA ZVEZE GEODETOV SLOVENIJE, MEDNARODNE DEJAVNOSTI

PRESTAVITEV GEODETSKEGA DNE ZARADI KORONAVIRUSA

Predstavniki Zveze geodetov Slovenije in Ljubljanskega geodetskega društva smo v skladu s priporočili vlade RS in pozivom ministra za zdravje o odpovedi javnih prireditev v zaprtih prostorih odpovedali izvedbo 48. Geodetskega dneva v predvidenem marčevskem terminu, o čemer ste bili vsi prijavljeni udeleženci že obveščeni. Nastop višje sile nam je narekoval odgovorno ravnanje in skrb za zdravje udeležencev, kar ostaja eno od osnovnih vodil našega delovanja! Zveza geodetov Slovenije in Ljubljansko geodetsko društvo pa ob tej priložnosti 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. Podrobnejše podatke o prireditvi še naprej spremljajte na spletnem mestu posveta www.geodetskidan.si. Iskrena hvala za razumevanje, posebej pa se zahvaljujemo za razumevanje in podporo tudi predavateljem in sponzorjem, saj vsi ostajajo z nami tudi v septembru! Hvala in upamo, da se vidimo v sproščenem ozračju in čim večjem številu v septembru.

Blaz Mozetič in Milan Brajnik, za Zvezo geodetov Slovenije in Ljubljansko geodetsko društvo

e-naslov: blaz.mozetic@gov.si, milan.brajnik@gis.si

OKRNJEN TUDI OSREDNJI DOGODEK OB SVETOVNEM DNEVU GEODETOV 21. 3. 2020?

Kot smo poročali že v preteklem letu, so predvsem zaradi vse večjega družbenega pomena geodezije in geoinformatike na konferenci Svetovne banke *Land and Poverty* v Washingtonu leta 2018 na pobudo mednarodne zveze geodetov FIG (fran. Fédération Internationale des Géomètres, www.fig.net), evropskega sveta inženirjev geodezije CLGE (fran. Comité de Liaison des Géomètres Européens, www.clge.eu) in ameriške zveze geodetov NSPS (angl. National Society of Professional Surveyors) razglasili svetovni dan geodetov, ki ga zaznamujemo 21. marca. Letošnjo letno konferenco Svetovne banke *Land and Poverty* v Washingtonu, v okviru katere naj bi potekala tudi osrednja slovesnost ob svetovnem dnevu geodetov, je močno zaznamovala pandemija koronavirusa. Že v sredi marca je bila odpovedana večina dogodkov ali pa so predvidena le manjša srečanja z omejenim številom udeležencev ter videosrečanja.

Naj ob tej priložnosti vendarle zapišemo še nekaj o ozadju razglasitve mednarodnega dneva geodetov, ki je namenjen predvsem promociji stroke tako znotraj stroke, kjer se poudarja kakovostno, pošteno in odgovorno delo geodetov, kot navzven, s ciljem prispevati k prepoznavnosti stroke v družbi. Že geodeti v rimskem imperiju so zaznamovali dan zemljemercev 23. februarja. V novjšem obdobju razvoja geodetske stroke ne smemo pozabiti na začetke mednarodnih organizacij – kot primer navajam mednarodno zvezo geodetov FIG, katere ustanovitev sega v daljno leto 1878. Pobuda za uvedbo mednarodnega dneva geodetov je prišla leta 2008 iz ZDA, kjer je njihova takratna zveza geodetov ACSM (angl. *American Congress on Surveying and Mapping*) že leta 1984 uvedla nacionalni teden geodetov, kar je podprl tudi takratni predsednik ZDA Ronald Reagan. Leta 2008 so se tako v okviru mednarodne zveze geodetov FIG začeli dogovori o razglasitvi mednarodnega dneva geodetov, ki je bil uradno razglašen deset let kasneje, to je leta 2018, za mednarodni dan pa so izbrali, kot že rečeno, 21. marec. V vmesnem obdobju je evropski svet inženirjev geodezije CLGE uvedel *evropski dan geodetov in geoinformatikov*. In sicer se je to zgodilo leta 2012, ob 500-letnici rojstva znanega geodeta in kartografa Gerardusa Mercatorja, kar smo s slavnostno akademijo zaznamovali tudi v Sloveniji.



Anka Lisec, za Zvezo geodetov Slovenije

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

DIPLOMA IN MAGISTERIJA NA ODDELKU ZA GEODEZIJO UL FGG

OD 1. 11. 2019 DO 31. 1. 2020

MAGISTRSKI ŠTUDIJSKI PROGRAM DRUGE STOPNJE GEODEZIJA IN GEOINFORMATIKA

Valentin Hegediš Izdelava in analiza časovne vrste satelitskih posnetkov različnih virov

Mentor: prof. dr. Krištof Oštir

URL: <https://repozitorij.uni-lj.si/lzpisGradiva.php?id=113291>

Andraž Blaznik Geodetski monitoring v kraški jami Ulica pečina

Mentor: doc. dr. Božo Koler

Somentor: asist. dr. Tilen Urbančič

URL: <https://repozitorij.uni-lj.si/lzpisGradiva.php?id=112949>

VISOKOŠOLSKI STROKOVNI ŠTUDIJSKI PROGRAM PRVE STOPNJE TEHNIČNO UPRAVLJANJE NEPREMIČNIN

Amar Ajdinović Analiza razmerij med najemninami in prodajnimi cenami stanovanj v Mestni občini Ljubljana

Mentorica: izr. prof. dr. Maruška Šubic Kovač

URL: <https://repozitorij.uni-lj.si/lzpisGradiva.php?id=113287>

SEZNAM RECENZENTOV ZNA NSTVENIH IN STROKOVNIH ČLANKOV, OBRAVNAVANIH V UREDNIŠTVU GEODETSKEGA VESTNIKA V LETU 2019

LIST OF PEER REVIEWERS OF ACADEMIC AND PROFESSIONAL ARTICLES ASSESSED BY THE GEODETSKI VESTNIK EDITORIAL BOARD IN 2019

prof. dr. Ivan R. Aleksić (Univerza v Beogradu, Fakulteta za gradbeništvo, Srbija)	Prof. Ivan R. Aleksić, Ph.D. (University of Belgrade, Faculty of Civil Engineering, Serbia)
dr. Fuat Başçiftçi (Univerza Selçuk, Konya, Turčija)	Fuat Başçiftçi, Ph.D. (University of Selçuk, Konya, Turkey)
prof. dr. Tomislav Bašić (Univerza v Zagrebu, Fakulteta za geodezijo, Hrvaška)	Prof. Tomislav Bašić, Ph.D. (University of Zagreb, Faculty of Geodesy, Croatia)
Sandi Berk (Geodetska uprava Republike Slovenije, Ljubljana, Slovenija)	Sandi Berk (Surveying and Mapping Authority of the Republic of Slovenia, Ljubljana, Slovenia)
doc. dr. Nejc Bezak (Univerza v Ljubljani, Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo, Slovenija)	Assit. Prof. Nejc Bezak, Ph.D. (University of Ljubljana, Faculty of Civil and Geodetic Engineering, Slovenia)
mag. Danijel Boldin (Geodetska uprava Republike Slovenije, Ljubljana, Slovenija)	Danijel Boldin, M.Sc. (Surveying and Mapping Authority of the Republic of Slovenia, Ljubljana, Slovenia)
mag. Vasja Bric (Geodetski inštitut Slovenije, Ljubljana, Slovenija)	Vasja Bric, M.Sc. (Geodetic Institute of Slovenia, Ljubljana, Slovenia)
doc. dr. Vladimir Bulatović (Univerza v Novem Sadu, Tehniška fakulteta, Srbija)	Assist. Prof. Vladimir Bulatović, Ph.D. (University of Novi Sad, Faculty of Technical Sciences, Serbia)
prof. dr. Raffaella Cefalo (Univerza v Trstu, Oddelek za inženirstvo in arhitekturo, Italija)	Prof. Raffaella Cefalo, Ph.D. (University of Trieste, Department of Engineering and Architecture, Italy)
prof. dr. Joep Crompvoets (KU Leuven, Inštitut za javno upravljanje, Belgija)	Prof. Joep Crompvoets, Ph.D. (KU Leuven, Public Governance Institute, Belgium)
doc. dr. Marjan Čeh (Univerza v Ljubljani, Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo, Slovenija)	Assist. Prof. Marjan Čeh, Ph.D. (University of Ljubljana, Faculty of Civil and Geodetic Engineering, Slovenia)
doc. dr. Samo Drobne (Univerza v Ljubljani, Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo, Slovenija)	Assist. Prof. Samo Drobne, Ph.D. (University of Ljubljana, Faculty of Civil and Geodetic Engineering, Slovenia)
Marko Fatur (Ljubljanski urbanistični zavod d. d., Ljubljana, Slovenija)	Marko Fatur (Ljubljanski urbanistični zavod d. d., Ljubljana, Slovenia)
doc. dr. Dubravko Gajski (Univerza v Zagrebu, Fakulteta za geodezijo, Hrvaška)	Assist. Prof. Dubravko Gajski, Ph.D. (University of Zagreb, Faculty of Geodesy, Croatia)
izr. prof. dr. Zagorka Gospavić (Univerza v Beogradu, Fakulteta za gradbeništvo, Srbija)	Assoc. Prof. Zagorka Gospavić, Ph.D. (University of Belgrade, Faculty of Civil Engineering, Serbia)
doc. dr. Ilija Grgić (Državna geodetska uprava Republike Hrvaške, Zagreb, Hrvaška)	Assist. Prof. Ilija Grgić, Ph.D. (Geodetic Administration of the Republic of Croatia, Zagreb, Croatia)
dr. Erwin Hepperle (Zvezni tehniški inštitut – ETH Zürich, Švica)	Erwin Hepperle, Ph.D. (Swiss Federal Institute of Technology – ETH Zürich, Switzerland)

prof. dr. Bin Jiang (Univerza Gävle, Fakulteta za inženirstvo in trajnostni razvoj, Švedska)	Prof. Bin Jiang, Ph.D. (University of Gävle, Faculty of Engineering and Sustainable Development, Sweden)
Leon Kobetič (Locus d. o. o., Domžale, Slovenija)	Leon Kobetič (Locus d. o. o., Domžale, Slovenia)
izr. prof. dr. Marko Krevs (Univerza v Ljubljani, Filozofska fakulteta, Slovenija)	Assoc. Prof. Marko Krevs, Ph.D. (University of Ljubljana, Faculty of Arts, Slovenia)
doc. dr. Miran Kuhar (Univerza v Ljubljani, Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo, Slovenija)	Assist. Prof. Miran Kuhar, Ph.D. (University of Ljubljana, Faculty of Civil and Geodetic Engineering, Slovenia)
dr. Peter Lamovec (Univerza v Ljubljani, Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo, Slovenija)	Peter Lamovec, Ph.D. (University of Ljubljana, Faculty of Civil and Geodetic Engineering, Slovenia)
prof. dr. Christiaan Lemmen (Univerza Twente, ITC-PGM, Enschede, Nizozemska)	Prof. Christiaan Lemmen, Ph.D. (University of Twente, ITC-PGM, Enschede, The Netherlands)
doc. dr. Božena Lipej (Nova Univerza, Evropska pravna fakulteta, Slovenija)	Assist. Prof. Božena Lipej, Ph.D. (Nova University, European Faculty of Law, Slovenia)
izr. prof. dr. Anka Lisec (Univerza v Ljubljani, Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo, Slovenija)	Assoc. Prof. Anka Lisec, Ph.D. (University of Ljubljana, Faculty of Civil and Geodetic Engineering, Slovenia)
doc. dr. Aleš Marjetič (Univerza v Ljubljani, Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo, Slovenija)	Assist. Prof. Aleš Marjetič, Ph.D. (University of Ljubljana, Faculty of Civil and Geodetic Engineering, Slovenia)
izr. prof. dr. Stevan Đ. Marošán (Univerza v Beogradu, Fakulteta za gradbeništvo, Srbija)	Assoc. Prof. Stevan Đ. Marošán, Ph.D. (University of Belgrade, Faculty of Civil Engineering, Serbia)
prof. dr. Hans Mattson (Kraljevi tehniški inštitut – KTH, Stockholm, Švedska)	Prof. Hans Mattson, Ph.D. (Royal Institute of Technology – KTH, Stockholm, Sweden)
mag. Klemen Medved (Geodetska uprava Republike Slovenije, Ljubljana, Slovenija)	Klemen Medved, M.Sc. (Surveying and Mapping Authority of the Republic of Slovenia, Ljubljana, Slovenia)
Andrej Mesner (Igea d. o. o., Brezovica pri Ljubljani, Slovenija)	Andrej Mesner (Igea d. o. o., Brezovica pri Ljubljani, Slovenia)
mag. Nika Mesner (Agencija za komunikacijska omrežja in storitve Republike Slovenije, Ljubljana, Slovenija)	Nika Mesner, M.Sc. (Communications Networks and Services Agency of the Republic of Slovenia, Ljubljana, Slovenia)
izr. prof. dr. Admir Mulahusić (Univerza v Sarajevu, Fakulteta za gradbeništvo, Bosna in Hercegovina)	Assoc. Prof. Admir Mulahusić, Ph.D. (University of Sarajevo, Faculty of Civil Engineering, Bosnia and Herzegovina)
doc. dr. Gerhard Navratil (Tehniška univerza Dunaj, Oddelek za geodezijo in geoinformatiko, Avstrija)	Privatdoz. Dr.techn. Gerhard Navratil (TU Vienna, Department of Geodesy and Geoinformation, Austria)
doc. dr. Polona Pavlovčič Prešeren (Univerza v Ljubljani, Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo, Slovenija)	Assist. Prof. Polona Pavlovčič Prešeren, Ph.D. (University of Ljubljana, Faculty of Civil and Geodetic Engineering, Slovenia)
Igor Perpar (Geodetska uprava Republike Slovenije, Ljubljana, Slovenija)	Igor Perpar (Surveying and Mapping Authority of the Republic of Slovenia, Ljubljana, Slovenia)
Klemen Ritlop (Geodetski inštitut Slovenije, Ljubljana, Slovenija)	Klemen Ritlop (Geodetic Institute of Slovenia, Ljubljana, Slovenia)
doc. dr. Simon Rusjan (Univerza v Ljubljani, Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo, Slovenija)	Assist. Prof. Simon Rusjan, Ph.D. (University of Ljubljana, Faculty of Civil and Geodetic Engineering, Slovenia)
dr. Oskar Sterle (Univerza v Ljubljani, Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo, Slovenija)	Oskar Sterle, Ph.D. (University of Ljubljana, Faculty of Civil and Geodetic Engineering, Slovenia)
dr. Daniel Steudler (Zvezna geodetska uprava swisstopo, Wabern, Švica)	Daniel Steudler, Ph.D. (Federal Office of Topography swisstopo, Wabern, Switzerland)

prof. dr. Bojan Stopar (Univerza v Ljubljani, Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo, Slovenija)	Prof. Bojan Stopar, Ph.D. (University of Ljubljana, Faculty of Civil and Geodetic Engineering, Slovenia)
prof. dr. Erik Stubkjær (Univerza v Ålborgu, Oddelek za prostorsko planiranje, Danska)	Prof. Erik Stubkjær, Ph.D. (University of Ålborg, Department of Planning, Denmark)
dr. Miljana Todorović Drakul (Univerza v Beogradu, Fakulteta za gradbeništvo, Srbija)	Miljana Todorović Drakul, Ph.D. (University of Belgrade, Faculty of Civil Engineering, Serbia)
doc. dr. Hrvoje Tomić (Univerza v Zagrebu, Fakulteta za geodezijo, Hrvaška)	Assist. Prof. Hrvoje Tomić, Ph.D. (University of Zagreb, Faculty of Geodesy, Croatia)
doc. dr. Mihaela Triglav Čekada (Geodetski inštitut Slovenije, Ljubljana, Slovenija)	Assist. Prof. Mihaela Triglav Čekada (Geodetic Institute of Slovenia, Ljubljana, Slovenia)
prof. dr. Goran Turk (Univerza v Ljubljani, Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo, Slovenija)	Prof. Goran Turk, Ph.D. (University of Ljubljana, Faculty of Civil and Geodetic Engineering, Slovenia)
mag. Christian Ullrich (Zvezna geodetska uprava – BEV, Dunaj, Avstrija)	Christian Ullrich, M.Sc. (Federal Office of Metrology and Surveying – BEV, Vienna, Austria)
dr. Tilen Urbančič (Univerza v Ljubljani, Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo, Slovenija)	Tilen Urbančič, Ph.D. (University of Ljubljana, Faculty of Civil and Geodetic Engineering, Slovenia)
dr. Tatjana Veljanovski (Znanstvenoraziskovalni center Slovenske akademije znanosti in umetnosti, Ljubljana, Slovenija)	Tatjana Veljanovski, Ph.D. (Research Centre of the Slovenian Academy of Sciences and Arts, Ljubljana, Slovenia)
Anja Vrečko (Sinergise d. o. o., Ljubljana, Slovenija)	Anja Vrečko (Sinergise d. o. o., Ljubljana, Slovenia)
mag. Marijana Vugrin (Digi data d. o. o., Šenčur, Slovenija)	Marijana Vugrin, M.Sc. (Digi data d. o. o., Šenčur, Slovenia)
dr. inž. Peter Wasmeier (Tehniška univerza München, Fakulteta za vesoljske tehnologije in geodezijo, Nemčija)	Dr.-Ing. Peter Wasmeier (Technical University of Munich, Department of Aerospace and Geodesy, Germany)
prof. dr. John C. Weber (Državna univerza Grand Valley, Oddelek za geologijo, Allendale, Michigan, ZDA)	John C. Weber, Ph.D. (Grand Valley State College, Department of Geology, Allendale, Michigan, USA)
doc. dr. Alma Zavodnik Lamovšek (Univerza v Ljubljani, Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo, Slovenija)	Assist. Prof. Alma Zavodnik Lamovšek, Ph.D. (University of Ljubljana, Faculty of Civil and Geodetic Engineering, Slovenia)
dr. Marek Hubert Zienkiewicz (Tehniška univerza Gdansk, Fakulteta za gradbeništvo in okoljsko inženirstvo, Poljska)	Marek Hubert Zienkiewicz, Ph.D. (Gdansk University of Technology, Faculty of Civil and Environmental Engineering, Poland)
izr. prof. dr. Mladen Zrinjski (Univerza v Zagrebu, Fakulteta za geodezijo, Hrvaška)	Assist. Prof. Mladen Zrinjski, Ph.D. (University of Zagreb, Faculty of Geodesy, Croatia)
dr. Dušan Zupančič (Sving konzultanti d. o. o., Ljubljana, Slovenija)	Dušan Zupančič, Ph.D. (Sving konzultanti d. o. o., Ljubljana, Slovenia)



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

GEODETSKI dan48

ORGANIZACIJO SO PODPRLI SPONZORJI



GEODETSKA DRUŽBA

GENERALNI



ZLATI



SREBRNI



Geodetski
zavod
Celje d.o.o.

KARTOGRAFIJA



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



PRIHODNOST JE TREBA ŠE ZGRADITI

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

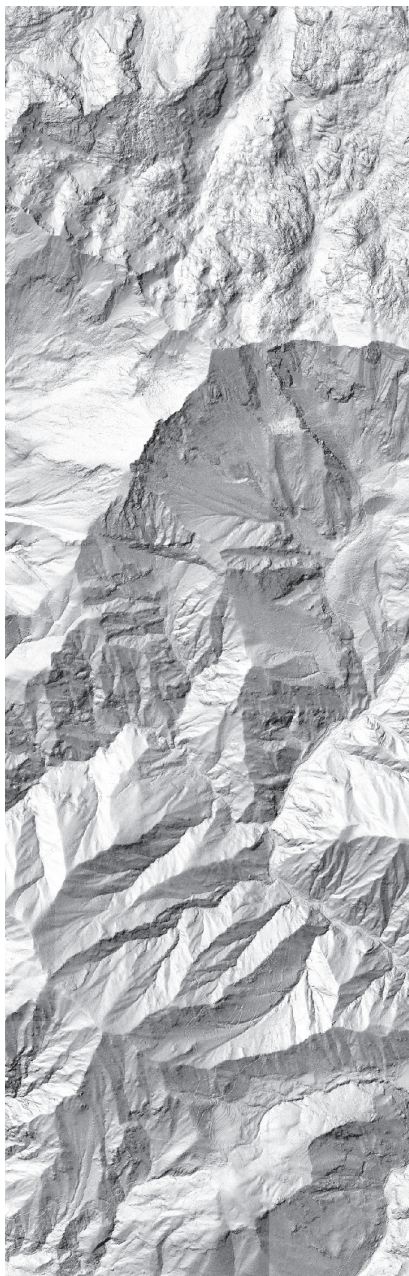
BOŠ ZRAVEN, KO SE BO GRADILA PRIHODNOST?

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.



21. – 25. september 2020

Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo Univerze v Ljubljani

Evropska vesoljska agencija v sodelovanju s Fakulteto za gradbeništvo in geodezijo Univerze v Ljubljani in Ministrstvom za gospodarski razvoj in tehnologijo organizira poletno šolo na področju daljinskega zaznavanja s poudarkom na opazovanju Zemlje in umetni inteligenci za gozdarstvo.

- Poletna šola je namenjena mladim, predvsem pa študentom višjih letnikov, doktorskim študentom, mladim raziskovalcem in vsem, ki jih zanima uporaba daljinskega zaznavanja in umetne inteligence s poudarkom na obnovljivih gozdnih virih.
- Razložene bodo teoretične osnove, algoritmi, podatki in njihova aplikativna uporaba za področje gozdarstva.
- Prikazana bo uporaba različnih metod in orodij za obdelavo daljinsko zaznanih podatkov s poudarkom na satelitskih posnetkih Sentinel.
- Predstavljena bo obdelava velikih količin satelitskih posnetkov za aplikativno uporabo v gozdarstvu.

<http://landtraining2020.esa.int>



University of *Ljubljana*
Faculty of *Civil and Geodetic Engineering*



REPUBLIC OF SLOVENIA
MINISTRY OF ECONOMIC DEVELOPMENT
AND TECHNOLOGY



GEODETSKI 2020 VESTNIK

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.

