

# GEODETSKI VESTNIK

UDK 528=863

ISSN 0351-0271

EISSN 1581-1328



Letnik 64, št. 3, str. 291–456, Ljubljana, september 2020. Izidejo štiri številke na leto.

Naklada te številke: 1200 izvodov.

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

Vol. 64, No. 3, pp. 291–456, Ljubljana, Slovenia, September 2020. Issued four times a year.

Circulation: 1,200 copies.

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

**IF JCR (2019): 0,469**

**IF SNIP (2019): 0,476**



*Geodetski vestnik je odprtodostopna revija.*

*Recenzirani objavljeni članki so indeksirani in povzeti v:*

*Social Sciences Citation Index (SSCI)*

*Social Scisearch (SSS),*

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

*Source Normalized Impact per paper (SNIP/SE)*

*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),*

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

*Source Normalized Impact per paper (SNIP/SE)*

*Indexed and abstracted is also in those bibliographic data bases:*

*GEOBASE(TM), ICONDA – International Construction Database, DOAJ*

*– Directory of Open Access Journals, SCOPUS, COBISS, Civil Engineering*

*Abstracts, GeoRef, CSA Aerospace & High Technology Database, Electronics*

*and Communications Abstracts, Materials Business File, Solid State and*

*Superconductivity Abstracts, Computer and Information Systems,*

*Mechanical & Transportation Engineering Abstracts,*

*Water Resources Abstracts, Environmental Sciences*

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

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

Geodetski vestnik is partly subsidized by the Slovenian Research  
Agency.

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

## GLAVNA IN ODGOVORNA UREDNICA

dr. Anka Lisec

Univerza v Ljubljani, Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo, Slovenija

Jamova cesta 2, SI-1000 Ljubljana

Tel.: +386 1 4768 560

e-naslov: urednik@geodetski-vestnik.com

## PODROČNI UREDNIKI

Sandi Berk, urednik rubrike *strokovne razprave*

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

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

dr. Klemen Kregar, področni urednik za *geodezijo*

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

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

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

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

## MEDNARODNI UREDNIŠKI ODBOR

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

dr. Janja Avbelj (Eumetsat, Darmstadt, Nemčija)

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

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

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

Miran Brumec (Inženirska zbornica Slovenije)

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

Tomaž Petek (Geodetska uprava RS, Ljubljana, Slovenija)

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

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

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

dr. Anton Prosen (Ljubljana, Slovenija)

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

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

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

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

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

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

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

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

dr. Arvo Vitikainen (Univerza, Aalto, Finska)

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

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



**EDITOR-IN-CHIEF****Anka Lisec, Ph.D.**

University of Ljubljana, Faculty of Civil and Geodetic Engineering, Slovenia

Jamova cesta 2, SI-1000 Ljubljana, Slovenia

Phone: +386 1 4768 560

E-mail: editor@geodetski-vestnik.com

**FIELD AND SUB-FIELD EDITORS****Sandi Berk**, editor for the section Professional Discussions**Božo Koler**, Ph.D., field editor for Engineering Geodesy**Mojca Kosmatin Fras**, Ph.D., field editor for Photogrammetry**Klemen Kregar**, Ph.D., field editor for Surveying**Božena Lipej**, Ph.D., field editor for Real Estate Management and Recording**Krištof Oštir**, Ph.D., field editor for Remote Sensing and Geoinformatics**Bojan Stopar**, Ph.D., field editor for Satellite Geodesy and Geophysics**Alma Zavodnik Lamovšek**, Ph.D., field editor for Spatial Planning**INTERNATIONAL EDITORIAL BOARD****Ivan R. Aleksić**, Ph.D. (University of Belgrade, Faculty of Civil Engineering, Belgrade, Serbia)**Janja Avblej**, Ph.D. (Eumetsat, Darmstadt, Germany)**Branislav Bajat**, Ph.D. (University of Belgrade, Faculty of Civil Engineering, Belgrade, Serbia)**Tomislav Bašić**, Ph.D. (University of Zagreb, Faculty of Geodesy, Zagreb, Croatia)**Giuseppe Borruso**, Ph.D. (University of Trieste, DEAMS, Trieste, Italy)**Miran Brumec** (Slovenian Chamber of Engineers)**Raffaella Cefalo**, Ph.D. (University of Trieste, Department of Engineering and Architecture, Trieste, Italy)**Vlado Cetl**, Ph.D. (EC, Joint Research Centre, Ispra, Italy)**dr. Joep Cromptvoets** (KU Leuven, Public Governance Institute, Leuven, Belgium)**Marjan Čeh**, Ph.D. (University of Ljubljana, Faculty of Civil and Geodetic Engineering, Ljubljana, Slovenia)**Walter Timo de Vries**, Ph.D. (Technical University of Munich, München, Germany)**Urška Demšar**, Ph.D. (University of St. Andrews, St. Andrews, Scotland, United Kingdom)**Samo Drobne**, Ph.D. (University of Ljubljana, Faculty of Civil and Geodetic Engineering, Ljubljana, Slovenia)**Erna Flogie Dolinar**, M.Sc. (Surveying and Mapping Authority of the Republic of Slovenia, Ljubljana, Slovenia)**Thomas Kalbro**, Ph.D. (Royal Institute of Technology, Stockholm, Sweden)**Dušan Kogoj**, Ph.D. (University of Ljubljana, Faculty of Civil and Geodetic Engineering, Ljubljana, Slovenia)**Žiga Kokalj**, Ph.D. (ZRC SAZU, Institute of Anthropological and Spatial Studies, Slovenia)**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 Petrović**, 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, 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](mailto:mojca.foski@fgg.uni-lj.si)  
Barbara Trobec, e-naslov: [barbara.trobec@fgg.uni-lj.si](mailto:barbara.trobec@fgg.uni-lj.si)  
dr. Teja Koler Povh, e-naslov: [teja.povh@fgg.uni-lj.si](mailto:teja.povh@fgg.uni-lj.si)

## LEKTORIRANJE

Manica Baša

## UREJANJE SPLETNIH STRANI

dr. Klemen Kozmus Trajkovski  
e-naslov: [web@geodetski-vestnik.com](mailto:web@geodetski-vestnik.com)

## TISK

SIMPRO d.o.o., Brezovica

## DISTRIBUCIJA

mag. Janez Goršič, e-naslov: [janez.gorsic@fgg.uni-lj.si](mailto: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](mailto: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](mailto:mojca.foski@fgg.uni-lj.si)  
Barbara Trobec, e-mail: [barbara.trobec@fgg.uni-lj.si](mailto:barbara.trobec@fgg.uni-lj.si)  
Teja Koler Povh, Ph.D., e-mail: [teja.povh@fgg.uni-lj.si](mailto:teja.povh@fgg.uni-lj.si)

## SLOVENE PROOFREADING

Manica Baša

## WEB PAGE EDITING

Klemen Kozmus Trajkovski, Ph.D.  
e-mail: [web@geodetski-vestnik.com](mailto:web@geodetski-vestnik.com)

## PRINT

SIMPRO d.o.o., Brezovica

## DISTRIBUTION

Janez Goršič, M.Sc., e-mail: [janez.gorsic@fgg.uni-lj.si](mailto: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](mailto:zveza.geodetov.slovenije@gmail.com)

## INSTRUCTIONS FOR AUTHORS

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

## VSEBINA CONTENTS

## UVODNIK | EDITORIAL

|                     |                                              |     |
|---------------------|----------------------------------------------|-----|
| <i>Anka Lisec</i>   | MED ISKRENIMI LJUDMI<br>AMONG SINCERE PEOPLE | 297 |
| <i>Blaž Mozetič</i> | TOČKA G<br>POINT G                           | 300 |

## RECENZIRANI ČLANKI | PEER-REVIEWED ARTICLES

|                                                                     |                                                                                                                                                                                                                                   |     |
|---------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| <i>Miran Kuhar, Rudi Čop, Polona Pavlovčič Prešeren</i>             | DOLOČITEV VPLIVA LUNE NA GEOMAGNETNI ŠUM<br>THE INFLUENCE OF THE MOON ON GEOMAGNETIC NOISE                                                                                                                                        | 303 |
| <i>Tine Hren, Klemen Kregar, Aleš Marjetič</i>                      | DOLOČITEV POLOŽAJA CERKVENEGA ZVONIKA S TERESTRIČNIM<br>LASERSKIM SKENIRANJEM<br>DETERMINATION OF CHURCH BELFRY POSITION USING TERRESTRIAL<br>LASER SCANNING                                                                      | 320 |
| <i>Alen Mangafić, Martin Pbuhar, Blaž Barborič</i>                  | IDENTIFIKACIJA OBMOČIJ VETROLOMA NA PODLAGI ČASOVNE VRSTE<br>S PODATKI C-SAR<br>WINDTHROW IDENTIFICATION WITH C-SAR TIME SERIES                                                                                                   | 335 |
| <i>Dilek Kucuk Matci, Resul Comert, Ugur Avdan</i>                  | PRIMERJAVA DREVESNIH ALGORITMOV RAZVRŠČANJA PRI ZAJEMU OBMOČIJ<br>POGORELIH GOZDOV<br>COMPARISON OF TREE-BASED CLASSIFICATION ALGORITHMS IN MAPPING<br>BURNED FOREST AREAS                                                        | 348 |
| <i>Marius Aleknavičius, Audrius Aleknavičius, Krystyna Kurowska</i> | ANALIZA TURISTIČNIH INTERAKCIJ V PROSTORU V ČEZMEJNI REGIJI LITVE IN<br>POLJSKE NA PODLAGI GRAVITACIJSKEGA MODELA<br>ANALYSIS OF SPATIAL INTERACTIONS OF TOURISM IN LITHUANIAN-POLISH<br>CROSS-BORDER REGION USING GRAVITY MODELS | 361 |

|                                                                                                                                         |     |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| <i>Kaja Pogačar, Andrej Žižek</i>                                                                                                       | 376 |
| SLEDENJE PROSTORSKO-ČASOVNE DINAMIKE V KONTEKSTU URBANE REGENERACIJE JAVNIH PROSTOROV Z UPORABO GEOLOCIRANIH OBJAV IZ SOCIALNIH OMREŽIJ |     |
| TRACKING SPATIOTEMPORAL DYNAMICS OF THE CULTURE-LED PUBLIC SPACE REGENERATION USING GEOLOCATED SOCIAL MEDIA POSTS                       |     |

|                                                                                                                                      |     |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| <i>Ajda Kafol Stojanović, Daniel Kozelj, Maruška Šubic Kovač</i>                                                                     | 389 |
| OCENA ZMOGLJIVOSTI VODOVODNEGA SISTEMA KOT STROKOVNA PODLAGA ZA ODLOČANJE O USMERJANJU RAZVOJA NASELIJ NA LOKALNI RAVNI (PREVOD)     |     |
| ASSESSMENT OF WATER DISTRIBUTION SYSTEM CAPACITY AS SETTLEMENT-DEVELOPMENT DECISION-MAKING EXPERT BASIS AT LOCAL LEVEL (TRANSLATION) |     |

## STROKOVNE RAZPRAVE | PROFESSIONAL DISCUSSIONS

|                                                                               |     |
|-------------------------------------------------------------------------------|-----|
| <i>Anka Lisec, Jože Dajnko, Erna Flogie Dolinar, Marjan Čeh</i>               | 403 |
| MREŽA MEJA IN MEJNIKOV: NOMINACIJA ZA UNESCOVO SVETOVNO DEDIŠČINO             |     |
| THE NETWORK OF BOUNDARIES AND ITS MONUMENTS: UNESCO WORLD HERITAGE NOMINATION |     |

|                    |     |
|--------------------|-----|
| <i>Joc Triglav</i> | 416 |
| VIRTUALNI GEORADAR |     |
| VIRTUAL GEORADAR   |     |

|                                            |     |
|--------------------------------------------|-----|
| <i>Andreja Švab Lenarčič</i>               | 423 |
| PTIČJI POGLED Z DRUGE PERSPEKTIVE          |     |
| A BIRD'S EYE VIEW FROM ANOTHER PERSPECTIVE |     |

|                                               |     |
|-----------------------------------------------|-----|
| <b>NOVICE IZ STROKE   NEWS FROM THE FIELD</b> | 431 |
|-----------------------------------------------|-----|

|                                               |     |
|-----------------------------------------------|-----|
| <b>DRUŠTVENE NOVICE   NEWS FROM SOCIETIES</b> | 439 |
|-----------------------------------------------|-----|

|                              |     |
|------------------------------|-----|
| <b>RAZNO   MISCELLANEOUS</b> | 447 |
|------------------------------|-----|

DIPLOME IN MAGISTERIJI NA ODDELKU ZA GEODEZIJO UL FGG, OD 1. 5. 2020 DO 31. 7. 2020

Slike na naslovnici:

Mosaik izbrane geodetske kulturne dediščine v Sloveniji prepoznane v okviru priprave na nominacija za Unescovo svetovno dediščino (od leve proti desni): prva vrsta: mejni kamen Livek iz leta 1753 (foto: U. Drešček); deželni kamen Zajasovnik iz leta 1845 (foto: M. Krivic); točka mariborske baze iz leta 1860: severna bazna točka 218 Orehova vas (foto: J. Dajnko); druga vrsta: mejni kamen iz Veščice št. 5 iz leta 1754 (foto: J. Dajnko); deželni kamen ob Savi, Vrbina (foto: OGU Sevnica); tromeja med katastrskimi občinami Draga, Grčarica in Gotenica (foto: B. Kovač); deželni kamen pred gradom Brežice (foto: A. Lisec); tretja vrsta: mejni kamen iz Veščice št. 22 iz leta 1674 (foto: A. Lisec); točka mariborske baze iz leta 1860: južna bazna točka 217 Starošince (foto: A. Lisec); mejni kamen Kalič iz leta 1823 (foto: M. Logar); mejni kamen iz Veščice št. 22 iz leta 1674 (foto: A. Lisec).

# MED ISKRENIMI LJUDMI    AMONG SINCERE PEOPLE

*Anka Lisec*

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

V dnevih zaključevanja septembrske številke Geodetskega vestnika nas skozi okno lepo pozdravljajo pozni poletni sončni žarki, kot da bi se z nami veselili, da imamo v uredništvu celo paleto člankov za objavo. Kako lepo je biti urednik, ko imaš na voljo tako veliko zanimivih prispevkov – pa naj bodo to raziskovalni članki ali pa strokovne razprave in novice. Še več. Kljub nenavadnim časom imamo tudi novice iz društev, pri čemer se društvene dejavnosti seveda izvajajo le v okvirih, ki so v teh časih dopustni. Hvala, da delite te utrinke z nami!

Prispevka o izjemnem uspehu slovenskih znanstvenikov in razvijalcev v tej številki sicer še ne objavljamo, a obljubljen nam je, da dobimo poročilo za decembrsko številko. V mislih imam uspešno izstrelitev prvih dveh slovenskih satelitov v orbito, ki smo jo čakali vse od februarja, in nekateri so že nejevoljno obupovali ... Ampak uspelo je! In to v letu, ko zaznamujemo petdeset let vzpostavitve prve letalske ekipe na Slovenskem za fotogrametrično snemanje (op. o tem smo poročali v prejšnji številki). V četrtek, 3. 9. 2020, ob 3.51 po srednjeevropskem poletnem času je raketa Vega ponesla iz Francoske Gvajane v vesolje 53 satelitov, med njimi prvi slovenski mikrosatelit NEMO-HD in prvi slovenski nanosatelit TRISAT.

Če se vrnemo na trdna tla – tokrat ne morem mimo novice, ki smo jo, prav tako začetek septembra, prejeli od stanovskih kolegov iz Avstrije. Avstrijski kolegi, ki so pobudniki, da se geodetska terenska kulturna dediščina razglasi za dediščino svetovnega pomena v okviru organizacije UNESCO, so nam sporočili, da so ob podpori njihovega resornega ministrstva za kulturo začeli pripravljati dokumentacijo za uradno vlogo na UNESCO. V ta namen se pripravlja tematska študija, kamor bodo vključili tudi države, ki smo izrazile interes za sodelovanje. Kot veste, je pobuda stara že nekaj let in tudi v Sloveniji smo se prek Zveze geodetov Slovenije, s podporo Fakultete za gradbeništvo in geodezijo pri Univerzi v Ljubljani ter Geodetske uprave RS, dejavno vključili vanjo. Zbrane imamo predloge izjemnih mejnih kamnov in geodetskih točk. Ob tej priložnosti hvala vsem, ki ste nam jih poslali. S tem smo posredno pripravili tudi popis izjemnih mejnikov in geodetskih točk na območju Slovenije, o čemer bomo v naših krogih zagotovo še govorili.

Za konec še ena septembrska novica – v petek, 4. septembra 2020, smo dobili novega predsednika Zveze geodetov Slovenije mag. Gregorja Klemenčiča. Iskrene čestitke!

Ob tej priložnosti naj se zahvalim Blažu za vse storjeno in predvsem za njegovo neutrudno prepričanje,

da skupaj zmoremo! Zveza je namreč uspešna toliko, kolikor so uspešna društva in kolikor so dejavni in uspešni posamezni člani. Vsi uspehi in lepi spomini so zasluga predvsem mnogih članov društev, ki prostovoljno in iskreno delujete v dobrobit stroke. Tudi meni je bilo v čast pluti z vsemi vami, čeravno včasih ni bilo enostavno. Toda ob iskrenih in motiviranih ljudeh ni nič težko – saj poznate besedilo znane slovenske popevke, ki pravi: »Med iskrenimi ljudmi so preproste vse reči kot jasen dan.«

Verjamem, da bo tudi novo vodstvo, ki se še oblikuje, sledilo smernicam, ki so se oblikovale in bile splošno sprejete med člani društev v preteklih letih. Naj ostane Zveza geodetov Slovenije še naprej tista, ki spodbuja in ceni delovanje lokalnih društev, nas združuje na državni ravni ter hkrati ohranja in krepi stike z drugimi strokami in stanovskimi združenji v tujini. Iskreno želim vse dobro novemu vodstvu!

---

*These days, as we finish the September issue of Geodetski Vestnik, the rays of the late-autumn sun are greeting us through the windows, as if they would like to join in a celebration of the fine array of articles in our editorial office. How pleasant it is to be the editor with numerous interesting pieces of writing at hand – be they academic contributions or discussions and news from the field. And not only this – despite these strange times, there is also news from the surveying societies, even though their activities had to be adapted to special measures. Thank you for sharing your experiences with us!*

*This issue does not feature exceptional developments in Slovene science, but we have a promise to get a detailed report for the December issue. This refers to the successful launch of the first two Slovene satellites to orbit, which had been eagerly awaited since February. Some started to lose their confidence that this would ever happen... but the mission was accomplished! The success came in the year in which we are celebrating the fifteenth anniversary of the establishment of the first flight crew for photogrammetric recording in Slovenia (we covered this in the previous issue). On Thursday, 9/3/2020, at 3:51 CEST, a Vega rocket lifted off from French Guiana to deliver 53 satellites, among which are the first Slovene microsatellite NEMO-HD and the first Slovene nanosatellite TRISAT.*

*To return to the solid ground, we cannot neglect the news that arrived from our colleagues in Austria, also at the beginning of September. Our Austrian peers, who set up an initiative to submit the terrain-survey heritage for the inscription on the UNESCO World Heritage List, informed us that they managed to obtain the support of their Ministry of Culture to start preparing the documentation necessary for the nomination by UNESCO. A special thematic study is being prepared that will include the countries that have expressed an interest in cooperation. As some of you may know, the initiative stretches a few years back, and our profession is actively involved through the Association of Surveyors of Slovenia and with the support of the Faculty of Civil and Geodetic Engineering in Ljubljana, as well as the Surveying and Mapping Authority of the Republic of Slovenia. We have gathered suggestions for boundary stones and geodetic points of exceptional value. I would like to use this opportunity to express my gratitude to everybody who has already sent us your contributions. They helped us to compose a list of exceptional boundary markers and geodetic points in Slovenia, which will with no doubt be further discussed in professional circles.*

*Moreover, there is another piece of important news: on Friday, 4<sup>th</sup> September 2020, we elected a new president of the Association of the Surveyors of Slovenia. Sincere congratulations to Mr Gregor Klemenčič!*

*I would also like to thank Blaž Mozetič for everything he has done, and predominantly for his firm belief that it is possible to achieve everything with common efforts! The success of the association can only be measured by the success and activity of its members. All our achievements and memories are predominantly the contribution of numerous members of the societies that strive for the benefit of the profession voluntarily and with sincere intentions. It has been an honour to be in the same boat with you, even though we had to overcome some difficulties. However, nothing is difficult if you are surrounded by sincere and motivated people. A famous Slovene song goes: Among sincere people, everything is as easy as a clear day.*

*I am firmly convinced that the new leadership, which is being formed at the moment, will follow the guidelines that were developed and were generally accepted by the members of the societies in the past years. May the Association of Surveyors of Slovenia remain the driving force behind local societies, our common voice on the level of the state, at the same time maintaining and strengthening ties with other professions and professional associations abroad. With sincere wishes for all the best to the new leadership!*

## TOČKA G POINT G

*Blaž Mozetič**predsednik Zveze geodetov Slovenije | president of the Association of Surveyors of Slovenia*

Drage geodetke in geodeti ter sopotniki geodetske stroke, ki radi vzamete v roke našo stanovsko strokovno revijo Geodetski vestnik in se prepustite bralskim izzivom. Uvodnik, ki ga berete, je moj zadnji v vlogi predsednika Zveze geodetov Slovenije. Pred nekaj dnevi je bila izvedena skupščina zveze, na kateri je bila najpomembnejša točka na dnevnem redu izvolitev predsednika Zveze geodetov Slovenije za naslednje štiriletno mandatno obdobje.

Torej smo prišli do točke, v kateri se srečata dve časovni premici, na eni strani je preteklost, na drugi pa prihodnost. Če se ozrem v preteklost, sem trdno prepričan, da bomo našli kar nekaj svetlih trenutkov, kot so slavnostne akademije in strokovni simpoziji, ki smo jih zaobjeli v najpomembnejši dogodek – Geodetski dan; skupščine, občni zbori, okrogle mize ter predavanja, ki so razsvetlili in popestrili našo vsakdanjo geodetsko realnost. Preprosto najpomembnejše pa je bilo geodetsko druženje, ko smo vedno našli skupne strokovne in družbene točke, čeprav se je njihovo iskanje dostikrat zavleklo pozno v noč. Nekaj vas je moralo predramiti, saj to potrjujejo bogate izdaje Geodetskega vestnika, udeležba in angažiranost na raznovrstnih geodetskih dogodkih. Kaj je to bilo, ve vsak sam najbolje.

Kar koli si že mislimo o geodeziji kot stroki ali inštituciji, sem lahko uvrstimo tudi Zvezo geodetov Slovenije, je vedno vse odvisno od ljudi. Brez ljudi ni osebne note, ni idej, ni želja, ni predlogov, ni razmišljanj, ni pomislekov, ni problemov, ni jamranja, ni nerganja, ni zadovoljstva, ni rešitev, ni nasmeha. Brez tega je geodezija samo točka, kot jo matematika opredeljuje: je tukaj, ampak brez dimenzij. Vi pa ste tisti, ki ste dali oziroma še vedno dajete tej točki neštete dimenzije, zato jo lahko upravičeno poimenujemo geodetska točka – točka G. Odstirali ste nove dimenzije Zvezi geodetov Slovenije, da smo »stali in obstali«, če si malo preoblikovane sposodim besede Primoža Trubarja iz prve slovenske tiskane knjige iz davnega leta 1550.

Ampak da ne bo pomote, nismo stali in obstali na mestu, v točki, kajti naše prepričanje, da ima geodetska stroka še veliko postoriti ter prispevati h gospodarskemu in družbenemu razvoju, nas vsak dan vabi k odkrivanju novih dimenzij G-točke in premiku naprej.

Drage kolegice in kolegi, hvala vam za dolgoletno podporo, pomoč, predloge, ideje, iskrice, izboljšave, zaupanje; pravzaprav hvala za vse, da je bilo naše skupno raziskovanje novih dimenzij razburljivo, strokovno plodno, gospodarsko pozitivno in družbeno prepoznano.



Če se ozrem še v prihodnost, pa iskrene čestitke, obilo modrosti in uspehov novemu predsedniku Zveze geodetov Slovenije mag. Gregorju Klemenčiču.

Srečno in pogumno!

*Dear Land Surveyors and companions of geodesy who like to dip into Geodetski Vestnik, our professional journal, for your personal satisfaction. The editorial you are reading is my last piece of writing for the journal in my capacity as the president of the Association of the Surveyors of Slovenia. The most important item on the agenda of the previous General Assembly, which took place a few days ago, was the election of its president for the next four-year term.*

*This change means that we have reached a point where two timelines intersect, one leading into the past, the other into the future. We will find a multitude of bright moments if we look back: there will be ceremonial academies and professional symposia, which have been brought together at our most important event – the Land Surveying Day; then, there are general assemblies, members' meetings, round tables, and lectures, all of them enlightening and stimulating our land-surveying reality. Nevertheless, the most important were our social gatherings, where we always managed to sparkle common professional and social interest, even though the search often extended into the late hours of the night. As proven by the abundant issues of Geodetski Vestnik, combined with the presence and vigour at various events in the field of geodesy, the stimulation was not lacking. I presume that every individual knows best what gave them the most pleasure.*

*There may be a wide array of different opinions on the geodesy as a profession and an institution, our Association of Land Surveyors included; the fact remains that everything depends on people. Without people, there is no personal touch; there are no wishes, perceptions, doubts, there are no problems, no moaning, no grumbling, there is no satisfaction, no solutions, no smiles. Without these, geodesy is just a mathematically defined point: it exists but has no dimensions. You are the ones who have been adding different dimensions to this point and will continue to do so, which is why we are free to give it a special name: the 'point of geodesy' or 'Point G'. You have unveiled new dimensions in the Association of Surveyors of Slovenia, so that we were able to 'stand and withstand', to paraphrase Primož Trubar's word from the first book in Slovene back in 1550.*

*However, let me be clear, we did not stand and withstand on one spot, at one point, because our firm conviction that geodesy as a profession has a lot to contribute to economic and social development, invites us to discover new dimensions of Point G in to move forward daily.*

*Dear colleagues, let me express my gratitude for the long years of support, help, suggestions, ideas, sparkles, improvements, trust. Thank you for everything that you did to fill our common endeavours to explore new aspects with excitement, professional fruitfulness, to achieve positive impacts on the economy, and to maintain the high social profile of our profession.*

*In the end, allow me to look into the future and congratulate Gregor Klemenčič, the new president of the Association. I wish you plenty of wisdom and success.*

*Good luck and a lot of courage!*



# DOLOČITEV VPLIVA LUNE NA GEOMAGNETNI ŠUM

# THE INFLUENCE OF THE MOON ON GEOMAGNETIC NOISE

Miran Kuhar, Rudi Čop, Polona Pavlovčič Prešeren

UDK: 528.27:523.3

Klasifikacija prispevka po COBISS.SI: 1.01

Prispelo: 4. 5. 2020

Sprejeto: 5. 7. 2020

DOI: 10.15292/geodetski-vestnik.2020.03.303-319

SCIENTIFIC ARTICLE

Received: 4. 5. 2020

Accepted: 5. 7. 2020

## IZVLEČEK

Vpliv Lune na geomagnetne meritve je dvajsetkrat manjši od vpliva Sonca, zato ga z dnevnih magnetogramov ni mogoče enostavno določiti. Proučujemo ga lahko šele po skrbno izbrani časovni vrsti magnetogramov, pridobljenih v posebnih obdobjih, in sicer v času minimalne intenzitete dogajanja na Soncu, ko v atmosferi ni prisotnih razlektritev ali prehodov nevihtnih front ter na širšem območju geomagnetnega observatorija ni bilo potresov. Začetek 25. Sončevega cikla in zimski solsticij v letu 2019 sta bila več kot primerno časovno izhodišče za proučevanje vpliva gravitacijskega učinka Lune na geomagnetni šum. Za izbrano obdobje smo na observatoriju PIA (Piran) pridobili zaporedje meritev časovnih vrst geomagnetno mirnih dni v tridnevnem obdobju zadnjega krajca in pred mlajem, ki je skoraj sovpadal z zimskim solsticijem. S spektralno analizo dveh obdobj zaporednih luninih men smo numerično ovrednotili vpliv gravitacijskega učinka Lune in rezultate primerjali z mareografskimi meritvami v Koprju. Dokazali smo, da iz geomagnetnih meritev ocenjeni vpliv Lune ustreza modeliranemu vplivu Lune iz rezultatov plimovanja morja. Z ocenjeno določitvijo geomagnetnega šuma zaradi vpliva Lune si bo v prihodnje mogoče pomagati pri oceni drugih naravnih in antropogenih vplivov na geomagnetni šum na observatoriju PIA (Piran).

## KLJUČNE BESEDE

šum v geomagnetnem polju, gravitacija Lune, 25. Sončev cikel, zimski solsticij

## ABSTRACT

Regarding geomagnetic measurements, the impact of the Moon is twenty times smaller than that of the Sun, so it is not easy to determine from daily magnetograms. The influence can be studied after a carefully selected time series of magnetograms obtained in specific conditions. Specifically, this is in minimum solar intensity with no charges or transitions of weather storm fronts, and no major earthquakes in the wider area. The beginning of the 25<sup>th</sup> Solar Cycle and 2019 Winter Solstice was an entirely appropriate timeframe for conducting a study of the lunar impact on geomagnetic noise. At the end of 2019, we were able to perform a time series of geomagnetically calm days at the PIA observatory (Piran) during the three-day period from the Third Quarter to the New Moon, which almost coincided with the Winter Solstice. The results of the processing of the geomagnetic measurements were compared with the independent sea level measurements from the tide gauge station in Koper. The spectral analysis of two consecutive lunar periods was used to evaluate the gravitational effect of the Moon. Furthermore, the results were compared with sea tides in Koper. We showed that the estimated influence of the Moon from geomagnetic measurements coincides with the modelled influence of the Moon from the results of sea tides. The results of the geomagnetic noise caused by the influence of the Moon can be used as a starting point for the investigation of other natural and anthropogenic influences on geomagnetic measurements at the geomagnetic observatory PIA (Piran).

## KEY WORDS

geomagnetic noise, gravity of the Moon, 25th Solar cycle, Winter Solstice

## 1 UVOD

Zaradi vse večjega zavedanja, da popolna zanesljivost določitve položaja s tehnologijo GNSS zaradi naravnih ali namernih motenj signala ni mogoča, je v podporo za neprekinjeno določitev položaja treba poznati tudi druge rešitve. Ena od možnosti so inercialni sistemi v povezavi z modeli magnetnega polja Zemlje. Modeli geomagnetnega polja so bili pred satelitskimi tehnikami določitve položaja v navigaciji pomemben vir informacij. Tudi danes se podatki redno posodabljajo za določitev navigacijske reference na večjem delu Zemljine površine, vključno z vodnimi območji in v aviaciji. Geomagnetne modele posodabljajo z združevanjem meritev na geomagnetnih observatorijih, razporejenih po celotni zemeljski obli.

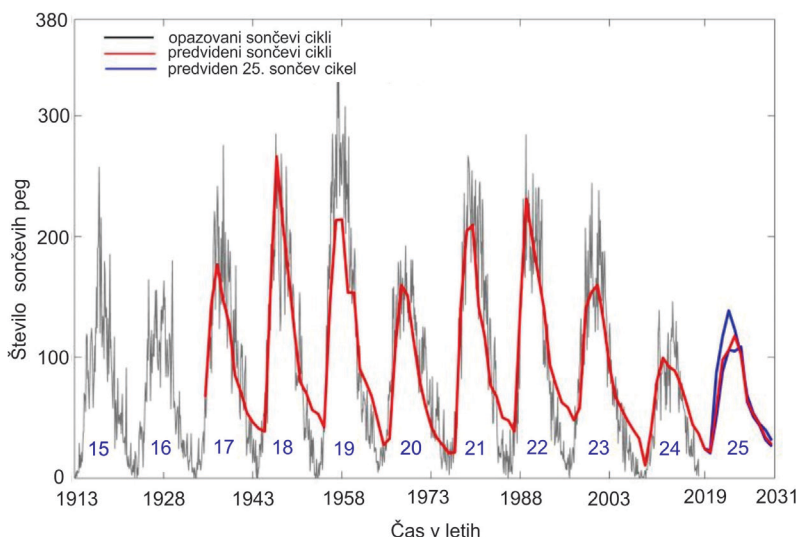
Zemeljsko magnetno (ali geomagnetno) polje se zaradi različnih dejavnikov prostorsko in časovno spreminja. To pomeni, da je treba njegove meritve izvajati neprekinjeno in hkrati proučevati nenadne spremembe ter ugotavljati vzroke in korelacijo z dejavniki vplivov na magnetno polje. Ko Zemljino magnetno polje na nekem območju nenadoma postane šibko, lahko nabiti delci prodrejo v zemeljsko polje in škodijo različnim umetnim satelitom. Geomagnetno polje je na eni strani podlaga za delovanje skupine navigacijskih instrumentov, lahko pa se na primer zgodi, da je zaradi nenadnih sprememb v ionosferi in geomagnetnem polju za neko obdobje povsem onemogočeno delovanje umetnih satelitov ter zemeljskih infrastruktur.

Sistematično opazovanje in spremljanje geomagnetnega polja kot tudi njegovo modeliranje so zelo pomembni. Z meritvami lahko spremljamo razmere v ionosferi, ugotavljamo indukcijo v zemeljski skorji in plašču ter proučujemo razmere v tekoči sredici Zemlje in njenem trdem jedru (Love in Remick, 2007; Chapman in Price, 2007). Še več, dokazano je bilo, da so spremembe v Zemljinem magnetnem polju povezane s pojavom potresov (Čop, 2017; Pavlovčič-Prešeren et al., 2020). V geomagnetno mirnih dnevih na magnetograme vplivajo električni in zračni tokovi v ionosferi, izbruhi na Soncu ter sončni mrki, lunine mene in prevodnost Zemljine skorje (Čop et al., 2015). Če želimo določiti vpliv posameznega dejavnika neodvisno od drugega, moramo za izbrana obdobja podrobno proučiti magnetograme in rezultate obdelav primerjati z drugimi neodvisnimi meritvami.

### 1.1 Izhodišče in cilj raziskave

V letu 2019 se je pričel 25. Sončev cikel (Čop, 2020), ki ima trenutno najmanjšo intenziteto dogajanja (slika 1). Večino dni na Sončevem disku ni bilo opaziti sončnih peg, izbruhi na njem so bili zelo redki in tudi geomagnetne nevihte niso bile pogoste. V sredini decembra 2019 je količina kozmičnih žarkov (Forbush, 1993), merjenih na površini Zemlje, dosegla rekordno visoko vrednost. Od leta 1964, ko se meritve kozmičnih žarkov opravljajo redno, je dosegla ekstremno vrednost še v obdobju 2009–2010, v minimumu 23. Sončevega cikla (Oulu Neutron Monitor, 2020).

V tem obdobju ter med zimskim solsticijem (od 23. do 25. decembra 2019), ko je imelo Sonce precej manjši vpliv na geomagnetno polje, je bilo smiselno narediti študijo primerjave obdobja z visoko količino kozmičnih žarkov (od 15. do 18. decembra 2019). Hkrati smo v dani raziskavi želeli numerično oceniti in z meritvami na mareografski postaji ovrednotiti vpliv Lune na geomagnetne meritve v minimumu 25. Sončevega cikla.



Slika 1: Zaporedje zadnjih Sončevih ciklov v odvisnosti od let s predvideni potekom 25. Sončevega cikla (qrznnow.com, 2020).

Za proučevanje geomagnetnih meritev z observatorija PIA (Piran) smo izbrali po tri zaporedne geomagnetno mirne dneve Sq (angl. *Solar quiet*), da je bil vpliv nekaterih naravnih virov, kot so razelektritve v atmosferi in prehodi nevihtnih front, na geomagnetni šum najmanjši. Za opazovanje vpliva luninih men na geomagnetne meritve smo enominutne srednje vrednosti merilnih rezultatov preslikali v frekvenčni prostor. Ker gravitacijski sili Sonca in Lune vplivata tudi na morje, smo v frekvenčnem prostoru primerjali rezultate geomagnetnih meritev s plimovanjem morja v Kopru.

## 2 GEOMAGNETIZEM IN IONOSFERSKO ELEKTRIČNI DINAMO

Pomembna spoznanja o povezavi med pojavi polarnih sijev in spremembami položaja magnetne igle je prvi prispeval švedski astronom in fizik Anders Celsius (1701–1744). S tem se je v prvi polovici 18. stoletja začel razvoj znanja o električnih tokih v ionosferi. Da so polarni siji posledica električnih tokov v zgornjih plasteh atmosfere, je s poskusom dokazal norveški fizik Kristian Birkeland (1867–1917) konec 19. stoletja. Sistem električnih tokov, ki povzročajo polarni sij, je ostal v ospredju zanimanja geofizikov še vse preteklo stoletje. Za proučevanja ionosfere so v teh treh stoletjih postopoma razvili različne merilne metode in instrumente. V drugi polovici 20. stoletja so se začele meritve ionosfere z raketami in umetnimi sateliti, dogajanje v njej pa so analizirali z računalniškimi modeli. Danes stanje v ionosferi lahko neprekinjeno modeliramo tudi z obdelavo opazovanj GNSS (Sterle et al., 2013), vendar, čeprav znamo razmeroma dobro oceniti porazdelitev prostih elektronov, še vedno ne poznamo dejstev o spremembi njene prevodnosti v odvisnosti od kraja in časa (Brekke, 2018).

Ob kakršnikoli spremembi zračnega tlaka v zračnih plasteh atmosfere in zaradi gravitacijskega vpliva Sonca ter Lune nastajajo dodatni električni toki v plasteh atmosfere, ki so električno prevodne. Zaradi vertikalnega premikanja zračnih mas v teh plasteh, ki se obenem premikajo v zemeljskem magnetnem polju, skozi tečejo električni toki. Ti učinkujejo na zemeljsko magnetno polje (Chapman, 1918; Chapman, 1919). S proučevanjem spremembe komponente Z zemeljskega magnetnega polja je britanski

fizik Arthur Schuster (1851–1934) z ionosferskim dinamom razložil dnevno variacijo geomagnetnega polja (Schuster, 1907).

## 2.1 Vpliv Sonca in Lune na magnetno polje Zemlje

Obhodni čas Lune okoli Zemlje je v povprečju 27,321661 dneva z ekscentričnostjo 0,0549 in naklonskim kotom  $5,145^\circ$  glede na ravnino ekliptike. S površine Zemlje to kroženje opazujemo kot lunine mene in njegovo ekscentričnost v različni velikosti polne lune. Masa Sonca je neprimerno večja od Lunine, vendar je zaradi njegove oddaljenosti od Zemlje, ki je 390-krat večja od oddaljenosti Lune od Zemlje, njegova gravitacijska sila le 0,46 Lunine (De Jong et al., 2002; Kowalik in Luick, 2013). Vektorska vsota obeh gravitacijskih sil vpliva na Zemljo, na njeno kopno, oceane in morja ter na njeno atmosfero. Skupaj s sevanjem Sonca in magnetnim poljem Zemlje soustvarja ionosferski dinamo.

S statistično analizo merilnih podatkov iz svetovnega sistema geomagnetnih observatorijev je Sydney Chapman (1888–1970) dokazal, da komponento S (angl. solar) in komponento L (angl. lunar) povzročajo električni toki v ionosferi, ki so zelo blizu sferični obliki in koncentrični glede na površino Zemlje. V geomagnetno mirnih dneh edino ti komponenti povzročata dnevne spremembe zemeljskega magnetnega polja (Matsushita, 1968; Chapman, 1961). Že v preteklosti so meritve geomagnetnega polja pokazale, da je magnetno polje ob polni luni in mlaju različno (Fraser-Smith, 1969). Vpliv Sonca in Lune na magnetno polje Zemlje so obravnavali za posamezne geomagnetne observatorije (Klausner et al., 2013; Bilge in Tulunay, 1997; Anad et al., 2008), področja geomagnetnega ekvatorja (Yizengaw in Carter, 2017; Soddoqui, 2017), celine (Cambell et al., 1998; Obiekezie Obiadazie in Agbo, 2013) in obdobja, daljša od deset let (Yamazaki et al., 2012; Yamazaki in Koch, 2014; Courtillot in Le Mouel, 1988). Uporabljali so različne metode obdelave merilnih podatkov, pri čemer v novejših raziskavah izstopajo analize z valčki (angl. wavelet analysis) (Kumar in Foufoula-Gergiou, 1997; Kumar, 1994) in uporaba časovnih oken, ki so daljša od lunarnega ali sinodskega meseca (29,5306 dneva).

## 2.2 Geomagnetne meritve in določitev mirnih dni, Sq

Električni toki elektronov in pozitivnih ionov se širijo po medplanetarnem prostoru od Sonca proti Zemlji; pojav imenujemo Sončev veter. Magnetno polje Zemlje električne toke, ki tečejo v bližnjem vesolju (angl. geospace) v magnetosferi na višini nad 200 kilometrov, zavrtinči okoli magnetnih silnic. Verjetnost za rekombinacijo elektronov in pozitivnih ionov je namreč na teh višinah zelo majhna, ker je njihova gibljivost zelo velika. Ta upada z gostoto zraka in zato prevodnost zračnih plasti narašča skoraj eksponentno z njihovo višino. Ta je odvisna tudi od lokalnega časa in enajstletnega cikla sončnih peg (Jursa, 1985). Na višini od 85 do 200 kilometrov nad površino Zemlje se absorbirajo že vsa rentgenska sevanja in ultravijolični žarki krajših valovnih dolžin, ki izhajajo s Sonca. Nastaja atmosferska plazma, ki je električno prevodna. Toki, ki nastajajo zaradi Sončevega sevanja in privlačnosti Sonca (angl. S-variation) ter zaradi privlačnosti Lune (angl. L-variation), premikajo ionosfersko plazmo v skladu z Lorentzovo silo, upoštevajoč magnetno polje Zemlje. Zaradi vrtenja Zemlje okoli svoje osi in vrtenja Lune okoli nje se gibanje ionosferske plazme širi kot atmosferski val. Pri tem nastajajo električna polja, prav takšna kot v električnih

navitjih dinama, ki poženejo električni tok po zaključenih električnih tokokrogih. Električni toki v ionosferi povzročajo dnevno spremembo magnetnega polja Zemlje, merjenega na njeni površini, in so sestavni del ionosferskega dinama. Njegovo proučevanje je najenostavnejše v geomagnetno mirnih dneh. Takrat na Zemljino magnetno polje ne vplivajo izbruhi na Soncu CME (angl. Coronal Mass Ejections) ali povečana hitrost sončnega vetra CIR (angl. Corotating Interaction Regions). V teh dneh Zemlja ne prehaja skozi mejno področje magnetnega polja v medplanetarnem prostoru (Cliver et al., 2004; Čop, 2016).

### 3 GEOMAGNETNI OBSERVATORIJ V SLOVENIJI

Na podlagi terenskih geomagnetnih meritev ter zbranih priporočil in podatkov je bila za izbiro primernege mesta za geomagnetni observatorij na ozemlju Slovenije narejena obsežna študija GIS (Paliska et al., 2010). Najprej je bil vzpostavljen observatorij na Sinjem Vrhu (SNV), in sicer na visokogorski planoti Gora nad Ajdovščino. Leta 2011 je bil vključen v mednarodno informacijsko mrežo INTERMAGNET (angl. International Real-time Magnetic Observatory Network). Že predhodne meritve na več postajah po Sloveniji so pokazale, da je v magnetnem polju prisoten visok šum. Zato smo dodatno preverili protonski magnetometer, s katerim smo opravljali izhodiščne meritve na drugem geomagnetnem observatoriju (Čop in Kosovac, 2010). Ker pri njem nismo odkrili napake, smo naredili več dodatnih meritev od obale Piranskega zaliva do Sinjega Vrha približno po isti geografski dolžini. Odkrili smo, da je šum v magnetnem polju pri obali Jadranskega morja precej nižji kot v notranjosti Slovenije.

#### 3.1 Vzpostavitev geomagnetnega observatorija PIA v slovenski Istri

Odločili smo se, da prestavimo lokacijo geomagnetnega observatorija. Izbrali smo jo v skladu s priporočili, naj observatorij stoji v magnetno mirnem okolju, ki naj bo oddaljeno od železnice, daljnovodov, prometa in ljudi. Po priporočilih morajo biti tudi stavbe observatorija zgrajene na stabilnih tleh in iz nemagnetnih materialov. Gradnjo observatorija PIA (Piran) v slovenskem delu Istre smo začeli načrtovati v začetku leta 2014 in ga januarja naslednje leto vključili v mednarodno informacijsko mrežo INTERMAGNET. Postavili smo ga na robu vasi Sv. Peter nad Dragonjo ( $\varphi = 45,46^\circ \text{ N}$ ;  $\lambda = 13,69^\circ \text{ E}$ ). Stoji na območju varovanega ozemlja Natura 2000, zaradi česar je bilo treba zagotoviti tudi prost prehod divjih živali. Ker je jugozahodni del Slovenije s strelami najbolj obremenjen del Evrope, smo morali razviti uspešno zaščito pred atmosferskimi razelektritvami (Čop et al., 2014). Zaradi zanesljivega prenosa merilnih podatkov smo morali proučiti in upoštevati vpliv Sonca na širjenje signalov mobilne telefonije (Čop, 2016). Ker so v slovenskem delu Istre boljše vremenske in podnebne razmere kot na Gori nad Ajdovščino, je bila gradnja observatorija enostavnejša, hitrejša in cenejša.

Observatorij SNV je bil od observatorija PIA oddaljen 52,9 kilometra (azimut  $21,68^\circ$ ). V prvem delu leta 2015 sta delovala še oba, zato smo lahko z merilnimi podatki iz tega obdobja naredili primerjavo velikosti geomagnetnega šuma (preglednica 1) na obeh merilnih mestih (Čop et al., 2011). Ravni geomagnetnega šuma se torej povečujejo od observatorija PIA proti severu, kjer na meji z Republiko Avstrijo stojijo mlada gorovja Kamniško-Savinjskih Alp in Karavank. S tem se je potrdilo, da je bila odločitev o spremembi lokacije observatorija smiselna.



Preglednica 1: Geomagnetne meritve na observatorijih SVN in PIA 14. avgusta 2015 od 00:00 do 03:00 UTC (Čop et al., 2011).

| Observatorij               | F [nT]    | $\sigma$ [nT] | $\sigma^*100/F$ [%] | $\sigma$ [%] / $\sigma_{PIA}$ [%] |
|----------------------------|-----------|---------------|---------------------|-----------------------------------|
| SNV (Sinji Vrh, Slovenija) | 47.746,01 | 0,82100       | 1,7195E-3           | 1,24                              |
| PIA (Piran, Slovenija)     | 47.410,55 | 0,65858       | 1,3891E-3           | 1,00                              |

3.2 Oprema na observatoriju

Za neprekinjeno merjenje spremembe geomagnetnega polja na observatoriju PIA smo izbrali triosni magnetometer *fluxgate*, ki je bil prilagojen na razmere v Sloveniji (Flux-gate Magnetometer LEMI-022\_SI, 2014). Izkušnje na observatoriju SNV so pokazale, da so prav ti magnetometri najbolj občutljivi za atmosferske razelektritve. Zaradi nadpovprečne ravni magnetnega šuma na ozemlju Slovenije smo se odločili za digitalni triosni magnetometer *fluxgate* s hitrostjo vzorčenja 1 sps (angl. samples per second).

Za spremljanje pojavov geomagnetnih impulzov, naravnih resonančnih frekvenc našega planeta in razmer v ionosferi smo v letu 2017 zgradili sprejemnik ELF/ULF (angl. extremely low frequency/ultra low frequency). Z usmeritvijo njegove antene v horizontalno ravnino smo odkrili, da so v frekvenčnem področju od 1 Hz do 99 Hz prisotne motnje umetnega izvora. Osnovni frekvenci javne električne mreže 50 Hz dodajajo višje harmonske frekvence nelinearni induktivni porabniki, kot so asinhronski električni motorji. Tem se pridružijo še bočni pasovi zaradi elektronske regulacije vrtljajev z modulacijo PPM (angl. pulse position modulation), ki vplivajo tudi na območje pod 1 Hz (Čop in Henigman, 2018). Raziskava je med drugim potrdila, da je bila izbira hitrosti vzorčenja digitalnega magnetometra pravilna.

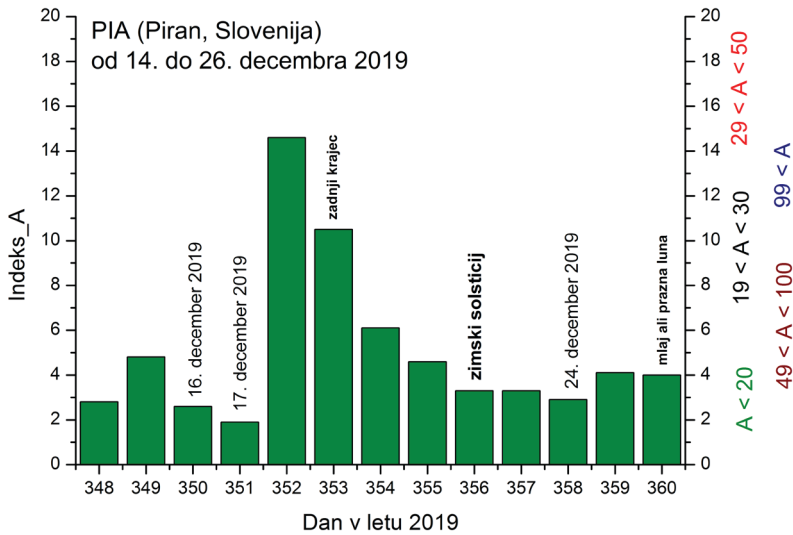
4 METODOLOGIJA RAZISKAVE

4.1 Obdelava geomagnetnih meritev, uporabljenih v raziskavi

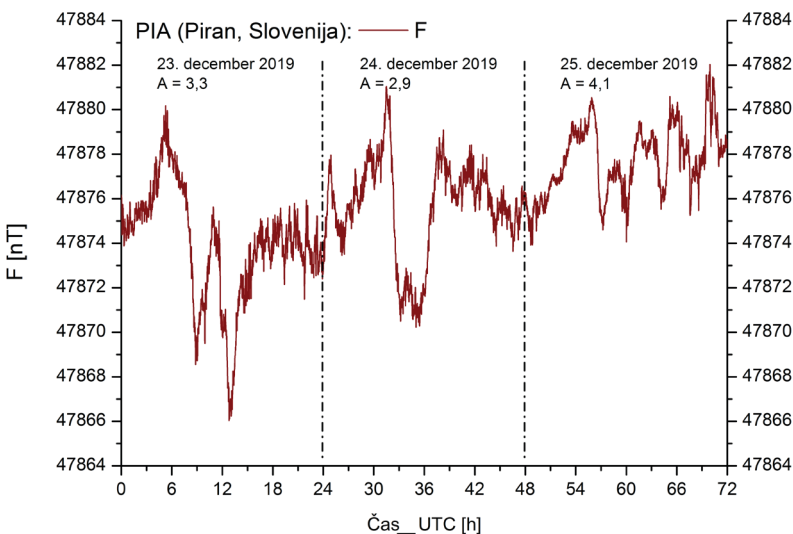
Pri geomagnetnih observatorijih na srednjih geografskih širinah, kjer leži tudi observatorij PIA, za opis stanja geomagnetnega polja uporabljamo geomagnetni indeks *K*. Geomagnetni indeks *K* na observatorijih računamo iz enominutnih srednjih vrednosti meritev spremembe zemeljskega magnetnega polja (Rostoker, 1972; Menvielle et al., 1995). Izračun geomagnetnega indeksa je bil podrobneje že opisan v Čop (2017).

Indeks *K* podaja relativno spremembo v triurnem časovnem intervalu glede na geomagnetno miren dan. Izračunan je iz meritev horizontalnih komponent zemeljskega magnetnega polja na posameznem geomagnetnem observatoriju v času UTC (angl. Coordinated Universal Time). Vrednosti indeksa *K* so prilagojene vsakemu observatoriju posebej, vendar se v daljšem časovnem obdobju ponovijo na vseh observatorijih približno enakokrat. Ker je indeks *K* logaritmične oblike, bi bila dnevna vsota vrednosti vseh osmih indeksov posameznega dneva geometrijska vsota. Linearni ekvivalent geomagnetnega indeksa *K* je indeks *a*. Vsota vseh osmih indeksov *a* posameznega dne je indeks *A* (angl. daily equivalent), ki pa je aritmetična vrsta (Čop et al., 2015). Indeks *A* preseže vrednost  $A = 48$  ob geomagnetnih nevihtah manjše jakosti in lahko doseže največjo vrednost  $A_{max} = 400$ . Razvidno je, da so bile v obdobju od 14. do 26. decembra 2019 vrednosti indeksov nizke, z izjemo od 18. do 20. decembra 2019 (slika 2). Za tri dneve okoli zimskega solsticija 2019 so bile vrednosti indeksov *A* podobne in več kot desetkrat manjše kot med geomagnetnimi nevihtami (slika 3).





Slika 2: Vrednost geomagnetnega indeksa A (angl. daily equivalent) od 14. decembra do 26. decembra 2019, v dneh okoli zimskega solsticija 2019.



Slika 3: Trije geomagnetno mirni dnevi Sq izbranega izhodiščnega obdobja na observatoriju PIA od 23. do 25. decembra 2019.

Načeloma naj bi bili magnetogrami sosednjih observatorijev v mirnih geomagnetnih dnevih podobni. Če se na posameznem observatoriju pojavi večji šum, lahko sklepamo na lokalne naravne ali antropogene vplive. Z lokalnimi spremembami geomagnetnega polja lahko napovemo tudi tektonska dogajanja (Čop, 2017; Pavlovčič-Prešeren et al., 2020). V dani raziskavi smo za primerjavo uporabili geomagnetne meritve z dveh observatorijev v Italiji, in sicer DUR (Duronio) in CTS (Castello Tesino) (slika 4).



Slika 4: Observatorij PIA v Piranu in sosednji geomagnetni observatoriji. V raziskavi uporabljena observatorija: CTS (Castello Tesino) in DUR (Duronio) v Italiji.

## 4.2 Primerjava geomagnetnih meritev s sosednjih observatorijev

Za matematično predstavitev povezave med dvema signaloma se uporablja korelacija, s katero se izmeri njuna medsebojna odvisnost. Za obravnavo signalov, ki vsebujejo impulze, je najprimernejša linearna korelacija. Splošna definicija za iskanje podobnosti dveh signalov  $f(n)$  in  $g(n)$  enake dolžine  $M$  sledi enačbi:

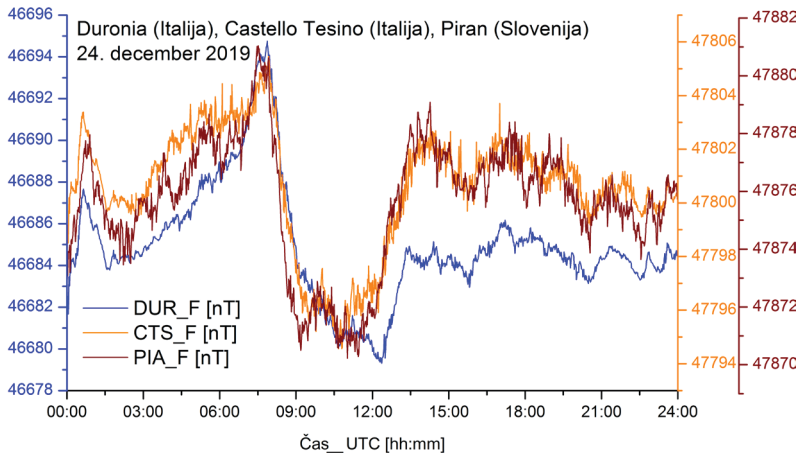
$$y(m) = \sum_{n=0}^{M-1} f(n) \cdot g(n-m), \quad (1)$$

pri čemer  $m$  predstavlja zamik drugega signala glede na prvega. Za signala enakih dolžin, ki se navezujeta na podatke iz različnih virov (na primer lokacij), izračunamo enostavni linearni koeficient korelacije  $r_{xy}$ :

$$r_{xy} = \frac{\sum (x_i - \bar{x})(y_i - \bar{y})}{\sqrt{\sum (x_i - \bar{x})^2 \sum (y_i - \bar{y})^2}}. \quad (2)$$

Če je korelacijski koeficient tudi normaliziran, potem je njegova vrednost med  $-1$  in  $+1$ . Pozitivni korelacijski koeficient nakazuje usklajenost sprememb v časovni vrsti obeh signalov, negativni ali antikorelacija pa nakazuje značilne pojave naraščanja enega ob hkratnem upadanju drugega signala. Vrednost normaliziranega korelacijskega koeficienta 0 (nič) pomeni, da sta signala med seboj popolnoma neodvisna oziroma si nista podobna. Signala sta si popolnoma enaka, če je vrednost normaliziranega korelacijskega koeficienta  $-1$  ali  $+1$ , rezultat avtokorelacije pa daje vrednost 1.

Linearna koeficienta korelacije med merilnimi podatki, izmerjenimi 24. decembra 2019 (slika 5) na geomagnetnem observatoriju DUR (Duronio), CTS (Castello Tesino) in PIA (Piran), sta pozitivna in znašata  $r_{\text{DUR-CTS}} = 0,81987$  in  $r_{\text{CTS-PIA}} = 0,92327$ . Korelacija med merilnimi podatki observatorija PIA in observatorija CTS (Castello Tesino) je v obravnavanem obdobju tako za vsaj 12,61 % večja kot korelacija z merilnimi rezultati njima sosednjih observatorijev.



Slika 5: Primerjava amplitudno premaknjenih magnetogramov z observatorija PIA s podatki geomagnetnih observatorijev CTS (Castello Tesino) in DUR (Durnia) v Italiji.

Za obravnavano obdobje zimskega solsticija se izračunani indeksi  $K$  za observatorij PIA in sosednja dva v Italiji (slika 5) razlikujejo, čeprav je trend meritev podoben. Magnetogram z observatorija DUR (Durnia) (Geomagnetic INGV Data Portal, 2019) je manj obremenjen z magnetnim šumom (slika 5). Podobno lastnost imajo magnetogrami geomagnetnih observatorijev Sloveniji sosednjih držav, na primer iz Hrvaške ali Madžarske. Zanimivo je, da se meritve na observatorijih CTS (Castello Tossino) in PIA (Piran) bolj skladajo glede na meritve DUR (Durnia) (slika 5). Razlog za to je najbrž v podobnem tektonskem dogajanju na danem območju. Vemo, da oba stojita v bližini severnega roba Jadranske tektonske mikroplošče (Weber et al., 2010; Pavlovčič-Prešeren et al., 2020), na območju, kjer se plošča giblje pod pritiskom afriške tektonske plošče in se zato zariva v Evrazijo (Cuffaro et al., 2010; Serpelloni et al., 2013).

#### 4.3 Primerjava geomagnetnih meritev z observatorija PIA iz decembra 2019

Zaporedne tridnevne meritve sprememb magnetnega polja Zemlje z observatorija PIA smo izbrali v času okoli zimskega solsticija 2019, ki je nastopil 22. decembra 2019 ob 04:19 UTC (MICA, 2012). Takrat ima v geomagnetno mirnih dneh Sonce najmanjši vpliv na geomagnetno polje. Tudi magnetosfera je stabilnejša kot ob enakonočjih, ko se v njej pogosteje pojavljajo razpoke (Oul Neutron Monitor, 2020). Za preslikave merilnih podatkov iz časovnega v frekvenčni prostor smo uporabili spektralno analizo MEM (angl. maximum entropy method), ki je učinkovitejša od standardnih oblik Fourierove transformacije FFT (angl. fast fourier transform) (Bergland, 1969) in se uporablja tudi v praktično delujočih sistemih (Kesler in Hayking, 1978). Fourierova transformacija se uporablja za opis linearnih sistemov in odkrivanje frekvenčnih komponent, ki sestavljajo opazovano nihanje. Z izbiro manj učinkovitega algoritma za transformacijo FFT bi zmanjšali točnost izločitve vpliva gravitacije v meritvah spremembe geomagnetnega polja. Kompleksne vrednosti period so izbrane tako, da so njihove realne vrednosti zaporedje ulomkov časa. Začetne vrednosti tega zaporedja, ki smo jih uporabili v raziskavi, so predstavljene v preglednici 2. V članku smo se omejili le na predstavitev njihovih amplitud, ker bi se z upoštevanjem tudi njihovih faznih premaknitvev in močnostnega spektra PSD (angl. power spectral density) zelo povečal obseg članka

in zmanjšala njegova preglednost. Sama predstavitev vpliva Lune na zemeljsko magnetno polje, ki se skriva v njegovem šumu, pa se s tem ne bi pomembno izboljšala.

Signal zapišemo v obliki:

$$x(f) = \int_{-\infty}^{+\infty} x(t) e^{-j2\pi ft} dt, \quad (3)$$

pri čemer je zvezen signal, odvisen od časa. Če je to nihanje vzorčeno ali se obdeluje digitalno, je uporabnejša diskretna Fourierova transformacija DFT (angl. discrete Fourier transform):

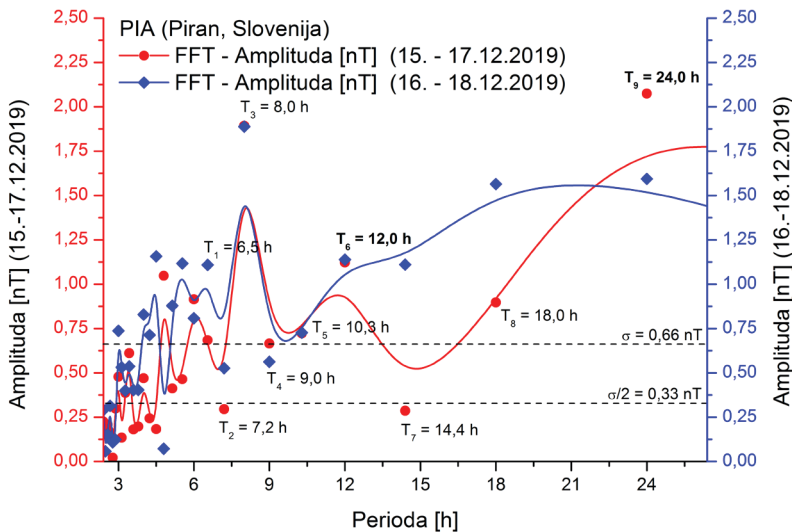
$$X(m) = \sum_{n=0}^{N-1} x(n) e^{-j2\pi nm/N}, \quad (4)$$

kjer je  $x(n)$  diskretno zaporedje vrednosti sicer časovno zvezne funkcije  $x(t)$ . Transformacija ima nekatere omejitve, ker se uporablja nad vzorci in v omejenem časovnem intervalu. Uporabnejša oblika transformacije DFT je transformacija FFT, ki z različnimi oblikami algoritmov omogoča hitrejši čas obdelave podatkov. Za FFT običajno zastopnost amplitud po frekvencah smo nadomestili z njeno inverzno vrednostjo, z zastopnostjo po periodah. Širino časovnega okna smo izbrali tako, da so bile v periodnem prostoru zanesljivo predstavljene vse periode, ki so značilne za posamezen geomagnetno miren dan (Smith, 1999; Lyons, 2011). Posamežno obravnavano tridnevno zaporedje je moralo biti resnično geomagnetno mirno (slika 2).

Za vse preslikave, izračune in primerjave smo uporabili enominutne srednje vrednosti enosekundnih merilnih podatkov. Tako je bila 24. decembra 2019 dnevna sprememba absolutne vrednosti vektorja magnetnega polja vsega  $dF = 47.881,04 \text{ nT} - 47.870,22 \text{ nT} = 10,82 \text{ nT}$  ali 0,023 % srednje vrednosti  $F = 47.875,65 \text{ nT}$  (slika 3). Tega dne je bila vrednost geomagnetnega polja  $A = 2,9$  (slika 2). Podatki z vremenoslovne postaje na Letališču Portorož, ki je od observatorija PIA oddaljena 5,91 kilometra zračne črte (azimut =  $288,21^\circ$ ), so potrdili, da je bilo v opazovanih tridnevnih obdobjih vreme stabilno in le občasno delno oblačno (ARSO, 2020). To pomeni, da ni vplivalo na spremembe v magnetnem polju Zemlje, ki se lahko zgodijo ob razelektritvah v atmosferi in prehodih vremenskih front MCS (angl. mesoscale convective system) (Čop, 2015). V izbranih obdobjih so bili na ozemlju Slovenije registrirani potresi manjše jakosti, najmočnejši je bil 23. decembra 2019 z magnitudo 1,6 po Evropski potresni lestvici (ARSO, 2020). Ker potresi povzročajo spremembe v količini energije v lokalnem magnetnem polju in zato dodatni magnetni šum (Čop, 2017; Pavlovčič-Prešeren et al., 2020), smo za izhodiščno obdobje izbrali tri zaporedne dneve z osrednjim 24. decembrom 2019, to je tik pred mlajem, 26. decembra 2019 ob 05:15 UTC (MICA, 2012). Za primerjavo smo izbrali tri zaporedne dni pred predhodnim zadnjim krajcem Lune, ki je bil 19. decembra 2019 ob 21:13 UTC. Vendar smo to obdobje zamaknili, saj je bil dan pred zadnjim krajcem Lune (18. december 2019) geomagnetno precej nestabilen (angl. geomagnetic unrest), kar potrjuje tudi povečan geomagnetni indeks na  $A = 14,6$  (slika 2). Na sliki 6 je predstavljena primerjava v frekvenčnem prostoru tridnevnega obdobja z osrednjim 16. decembrom 2019 s tridnevni obdobjem z osrednjim 17. decembrom 2019, ki potrjuje geomagnetno nestabilnost tridnevnega obdobja od 16. do 18. decembra 2019.

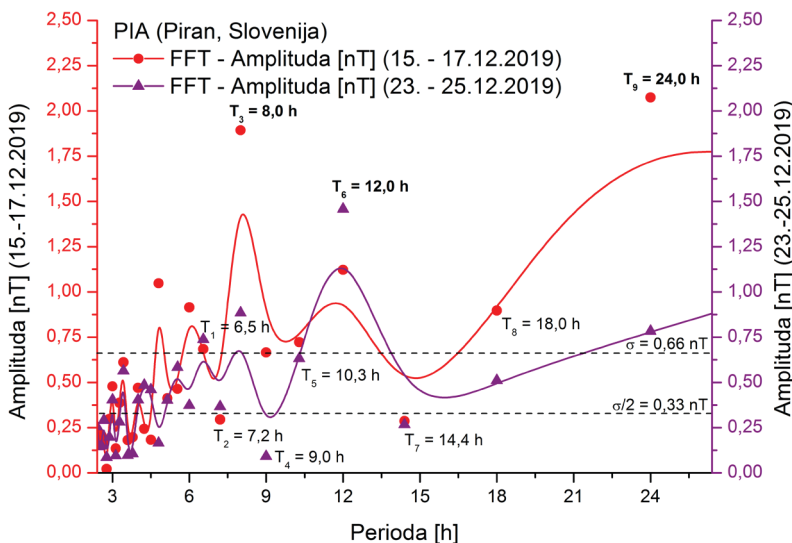
S slike 6 je razvidno, da se amplitude period  $T_3 = 8 \text{ h}$ ,  $T_5 = 10,3 \text{ h}$  in  $T_6 = 12 \text{ h}$  za primerjalni obdobji 15.–17. december in 16.–18. december niso spremenile. Zaradi povečane geomagnetne aktivnosti pa so se v obdobju 16.–18. december izrazito povečale amplitude period  $T_7 = 14,4 \text{ h}$  in  $T_8 = 18,0 \text{ h}$ , medtem ko

se je amplituda periode  $T_9 = 24,0$  h znižala. Pričakovano so se povečale tudi amplitude period, manjše od  $T_2 = 7,2$  h, vendar so te že blizu ali celo pod srednjo ravno magnetnega šuma  $\sigma = 0,66$  nT (Čop et al., 2011).



Slika 6: V frekvenčnem prostoru primerjane enominutne srednje vrednosti merilnih podatkov z observatorija PIA v primerjalni skupini treh dni in v skupini z zamikom en dan.

Slika 7 prikazuje primerjavo izbranega tridnevnega obdobja z osrednjim dnevom, 24. decembrom 2019, s predhodnim obdobjem z osrednjim dnevom 16. december 2019. Razvidno je močno znižanje amplitud period  $T_3 = 8,0$  h,  $T_4 = 9,0$  h,  $T_8 = 18,0$  h ter  $T_9 = 24,0$  h, medtem ko se je amplituda periode  $T_6 = 12,0$  h povečala. Ta je postala največja v izhodiščnem obdobju z osrednjim 24. decembrom 2019 (preglednica 1).



Slika 7: V frekvenčnem prostoru primerjane enominutne srednje vrednosti merilnih podatkov, izmerjenih na observatoriju PIA v primerjalnih in izhodiščnih treh dnevih (za osrednja datuma 16. in 24. december 2019).

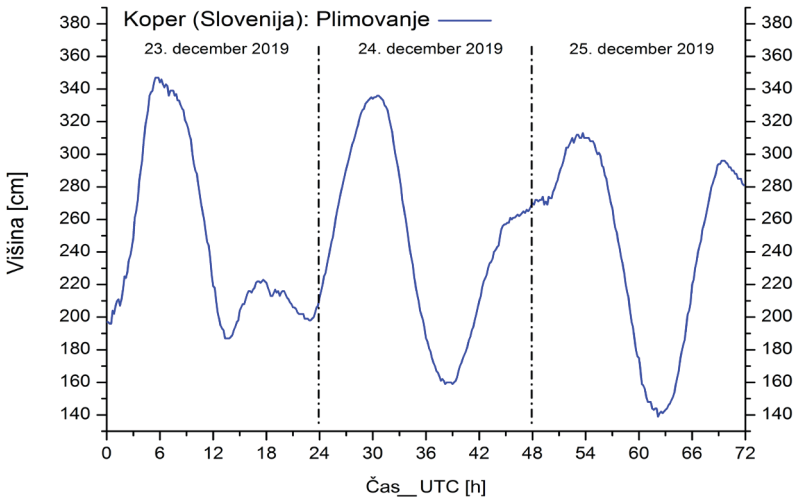
S slike je opazen značilen trend vpliva Lune, ki se zgodi, ko je Luna v zenitu opazovališča, tj. ko je opazovališču najbližje, oziroma na nasprotni strani Zemlje, v zveznici zenit–opazovališče–Luna. Pomembni periodi pri plimovanju sta  $T_6 = 12,0$  h in  $T_9 = 24,0$  h, zanimivo pa je, da iz geomagnetnih meritev pridobimo še en vrh, in sicer ob periodi  $T_3 = 8,0$  h, ki pri spremljanju plimovanja trdne Zemlje in morij ni značilen.

Preglednica 2: Primerjava tridnevnih obdobij geomagnetnih meritev z osrednjima dnevoma 16. in 24. december 2019.

|    | Perioda      |            |             | Amplituda                        |                                  | $A_{2G} - A_{1G}$<br>[%] |
|----|--------------|------------|-------------|----------------------------------|----------------------------------|--------------------------|
|    | [dan]        | [dan]      | [h]         | 2019-12-(15-17)<br>$A_{1G}$ [nT] | 2019-12-(23-25)<br>$A_{2G}$ [nT] |                          |
| T1 | 0,273        | 3/11       | 6,5         | 0,68415                          | 0,73785                          | 7,8                      |
| T2 | 0,300        | 3/10       | 7,2         | 0,29502                          | 0,36595                          | 24,0                     |
| T3 | <b>0,333</b> | <b>1/3</b> | <b>8,0</b>  | <b>1,89346</b>                   | <b>0,88432</b>                   | <b>-53,3</b>             |
| T4 | 0,375        | 3/8        | 9,0         | 0,66526                          | 0,09129                          | -86,3                    |
| T5 | 0,429        | 3/7        | 10,3        | 0,72217                          | 0,63240                          | -12,4                    |
| T6 | <b>0,500</b> | <b>1/2</b> | <b>12,0</b> | <b>1,12234</b>                   | <b>1,45763</b>                   | <b>29,9</b>              |
| T7 | 0,600        | 3/5        | 14,4        | 0,28666                          | 0,26667                          | -7,0                     |
| T8 | 0,750        | 3/4        | 18,0        | 0,89710                          | 0,51075                          | -43,1                    |
| T9 | <b>1,000</b> | <b>1/1</b> | <b>24,0</b> | <b>2,07449</b>                   | <b>0,78262</b>                   | <b>-62,3</b>             |
|    | 1,500        | 3/2        | 36,0        | 1,35826                          | 1,28340                          | -5,5                     |

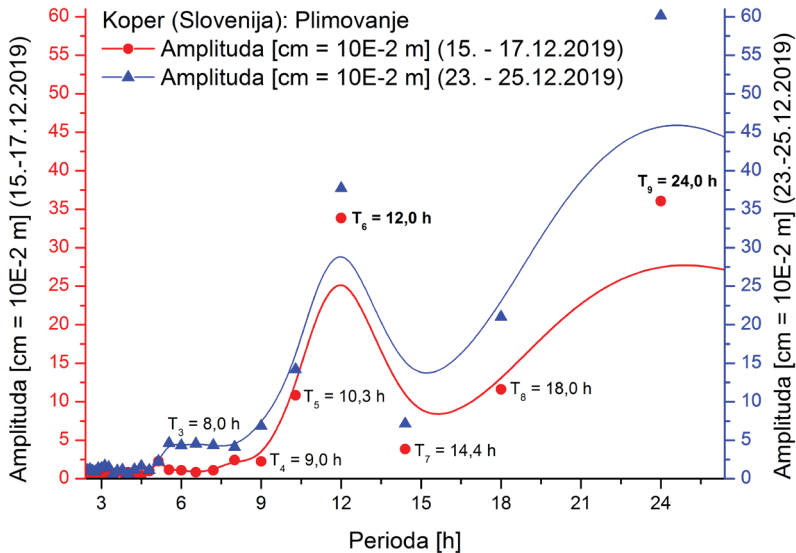
4.4 Podatki plimovanje morja z mareografa v Kopru

Kakovost izračunov vpliva Lune iz geomagnetnih meritev smo želeli preveriti na podlagi neodvisnih podatkov meritev, na katere ima Luna očiten vpliv. V ta namen smo pridobili podatke plimovanja morja, saj je tu gravitacijski vpliv Lune veliko očitnejši kot vpliv Sonca, ravno obratno kot pri geomagnetnih meritvah. Podatke plimovanja smo pridobili za mareografsko postajo Koper (ARSO, 2019), ki je od observatorija PIA oddaljena 10,42 kilometra zračne črte (azimut = 16,88°). Da bi mareografske meritve lahko primerjali z delovanjem ionosferskega dinama, smo naredili pretvorbo meritev plimovanja iz časovnega v frekvenčni prostor.



Slika 8: Visoko morje v treh zaporednih dneh, izmerjeno na mareografu Koper v treh zaporednih dneh pred mlajem 26. decembra 2019.

Izbrane meritve so bile v tridnevnem obdobju od 23. decembra do 25. decembra 2019 (slika 8), tik pred mlajem. Za primerjavo smo vzeli tridnevno obdobje pred zadnjim krajcem Lune od 15. decembra do 17. decembra 2019. Preslikava dveh merilnih obdobji plimovanja v frekvenčni prostor je predstavljena na sliki 9.



Slika 9: V frekvenčnem prostoru primerjano plimovanje v primerjalnih in v izhodiščnih treh dnevih, izmerjeno na mareografski postaji Koper.

Glede na obliko krivulje, ki predstavlja spremembo plimovanja (slika 8), je bil rezultat preslikave v frekvenčni prostor pričakovan (slika 9). Osnovna harmonska frekvenca je s svojo periodo blizu tako Luninemu (perioda luninih men je 29,5306 dneva) kot tudi Sončevemu dnev (24,0 ur). Druga harmonska frekvenca s periodo 0,5 dneva je tista, ki povzroča nesimetrično popačitev osnovne sinusne krivulje. Nastaja zaradi nasprotnega položaja Lune in Sonca glede na Zemljo. Izstopajoči periodi pri plimovanju (slika 9) sta  $T_6 = 12,0 \text{ h}$  in  $T_9 = 24,0 \text{ h}$ , pri čemer se od zadnjega krajca do mlaja povečata za 66,8 % oziroma 11,4 %.

## 5 OBRAVNAVA REZULTATOV

Luna in Sonce vplivata s svojima gravitacijskima silama na Zemljo v razmerju 100/46. Razlog za večji gravitacijski vpliv Lune, ki je precej manjša od Sonca, je njena bližina Zemlji (Volland, 1988). V nasprotju s plimovanjem morja, kjer je vpliv Lune vseskozi očiten, ga je z magnetogramov težko razbrati, saj je šibko in nima izrazitih polov. Dejstvo je, da na spremembo geomagnetnega polja Zemlje veliko očitneje delujejo pojavi na Soncu. Na podlagi primerjave geomagnetnih meritev z odčitki plimovanja morja lahko rečemo, da je plimovanje (slika 8) bližje sinusni krivulji kot pa dnevne spremembe lokalnega magnetnega polja (slika 3). Dodatno lahko vidimo, da so za obravnavano obdobje v obeh primerih značilne ekstremne vrednosti na obeh vrstah podatkov, ki tudi značilno sovpadajo. Gravitacijski vpliv Lune in Sonca na morja, oceane in tudi trdno zemeljsko skorjo je neprimerno enostavneje opazovati z mareografskih odčitkov kot pa iz sprememb magnetnega polja Zemlje zaradi ionosferskega dinamika. Vendar je



tudi napovedovanje gibanja vodnih mas zahtevno in omejeno zanesljivo, saj na plimovanje vplivajo tudi vremenski dejavniki. Srednja višina morja, izmerjena na mareografski postaji Koper, od 23. do 27. decembra 2019 je znašala  $h_{\text{mean}} = 245,9$  centimetra. Teden dni prej je bila ta višina  $h_{\text{mean}} = 238,0$  centimetra, oziroma nižja za  $\Delta h = 7,9 \text{ cm} = 3,3 \%$ , vendar celotne razlike ne moremo pripisati samo vplivu Lune. Če primerjamo geomagnetno mirne dneve ob zadnjem kraju in prazni Luni (mlaju), ugotovimo, da ne izstopata le periodi  $T_6 = 12,0 \text{ h}$  in  $T_9 = 24,0 \text{ h}$ , temveč tudi  $T_3 = 8,0 \text{ h}$  (preglednica 2). Ta se je od zadnjega kraja zmanjšala za 53,3 %. Eden od razlogov je gotovo simetrična popačitev osnovnega celodnevnege vala zaradi spremembe medsebojnega položaja Lune in Sonca glede na Zemljo. Zato se v zimskem obdobju v magnetogramu sicer geomagnetno mirnega dne ne opazi vedno poldneva po sončni uri, kot je to primer za 25. december 2019 (slika 3). Od 23. do 27. decembra 2019 se je srednja vrednost  $F_{\text{mean}} = 47.875,8 \text{ nT}$  povišala od tiste iz tridnevnega obdobja od 15. do 17. decembra 2019  $F_{\text{mean}} = 47.872,9 \text{ nT}$  za  $\Delta F = 2,9 \text{ nT}$ , kar znaša 0,006 %. Ta sprememba je večja od srednje vrednosti geomagnetnega šuma  $\sigma = 0,66 \text{ nT}$ . Iz rezultatov v preglednici 2 je očitno, da so geomagnetne meritve sledile trendu plimovanja morja na mareografski postaji Koper. Očitna razlika amplitud v obdobju zadnjega kraja in prazne Lune je značilna tako pri meritvah na mareografu kot tudi pri odčitkih z magnetogramov.

Značilno ujemanje meritev z mareografske postaje v Kopru in magnetogramov observatorija PIA v geomagnetno mirnih dnevih je pokazala, da lahko v nadaljnjih študijah proučevanja šuma magnetogramov uporabimo tudi zunanji vir podatkov z mareografske postaje v Kopru in jih pretvorimo v šum geomagnetnih meritev zaradi vpliva Lune. V tej raziskavi pridobljeni rezultati bodo zato služili za oceno in odstranitev vpliva Lune tudi v obdobjih z večjo intenziteto dogajanj v geomagnetnem polju, nastalih zaradi drugih vplivov, ki jih nameravamo proučevati.

## 6 SKLEP

Slovenija leži na srednjih zemljepisnih širinah severne poloble in ni pod vplivom ekvatorialnega električnega toka, ki teče v ionosferi nad ekvatorjem, kot tudi ne pod vplivom posebnih razmer okoli magnetnih polov. Glede na rezultate meritev sprememb magnetnega polja Zemlje, merjenih na geomagnetnih observatorijih v sosednjih državah, je na ozemlju Slovenije prisotna visoka stopnja geomagnetnega šuma. Prav ta postavlja omejitve pri geomagnetnih meritvah po priporočilih mednarodne organizacije IAGA (angl. International Association of Geomagnetism and Aeronomy). Zato so raziskave, kjer skušamo ločiti posamezne vplive na geomagnetni šum, zelo pomembne. V danem prispevku nam je uspelo predstaviti oceno vpliva Lune z magnetogramov. V prihodnje bomo oceno vpliva Lune z mareografske postaje lahko uporabili za odstranitev vpliva, da bo mogoče bolje oceniti druge dejavnike, ki vplivajo na geomagnetni šum na observatoriju PIA. Še vedno ostajata aktualni problematiki proučevanja geomagnetnega šuma na meritve v povezavi z antropogenim vplivom kot tudi določitev sprememb geomagnetnih meritev s tektonskimi dogajanj v Sloveniji ali njeni okolici.

## Literatura in viri:

- |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                      |                                                                                                                                                                                                                                                                                               |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <p>Anad, F., Amory-Mazaudier, C., Hamoudi, M., Bourouis, S., Abtout, A., Yizengaw, E. (2016). Sq solar variation at Medea Observatory (Algeria), from 2008 to 2011. <i>Advances in Space Research</i>, 58 (9), 1682–1695. DOI: <a href="https://doi.org/10.1016/j.asr.2016.06.029">https://doi.org/10.1016/j.asr.2016.06.029</a></p> | <p>Anderson, D., Fuller-Rowell, T. (1999). <i>The Ionosphere</i>. SE-14. Boulder (US): Space Environmental Center.</p> <p>ARSO (2020). Zadnji potresi. Ljubljana: Agencija RS za okolje. <a href="http://potresi.arso.gov.si/">http://potresi.arso.gov.si/</a>, pridobljeno 29. 12. 2019.</p> |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|



- ARSO (2019). Vode. Postaja Koper – kapitanija – Jadransko morje. Ljubljana: Agencija RS za okolje. [https://www.arso.gov.si/vode/podatki/amp/H9350\\_g\\_1.html](https://www.arso.gov.si/vode/podatki/amp/H9350_g_1.html), pridobljeno: 26. 12. 2019.
- Bergland, D. A. (1969). A guided tour of the fast Fourier transform. *IEEE Spectrum*, 6 (7), 41–52. DOI: <https://doi.org/10.1109/MSPEC.1969.5213896>
- Bilge, A. H., Tulunay, Y. K. (1997). Spectral analysis of geomagnetic data from Kandilli Observatory, Istanbul. *Annals of geophysics*, 40 (6), 1591–1598. DOI: <https://doi.org/10.4401/ag-3833>
- Brekke, A. (2018). Pioneers of Electric Currents in Geospace. *Electric Currents in Geospace and Beyond*. V: A. Keiling (ur.), O. Marghita (ur.), M. Wheatland (ur.). *Geophysical Monograph* 235. Washington (DC, US): American Geophysical Union; John Wiley & Sons. DOI: <https://doi.org/10.1002/9781119324522.ch1>
- Campbell, W. H., Barton, C. E., Chamalaun, F. H., Welsh, W. (1998). Quiet-day ionospheric currents and their application to upper mantle conductivity in Australia. *Earth Planets Space*, 50, 347–360. DOI: <https://doi.org/10.1186/BF0352121>
- Chapman, S. (1918). The diurnal changes of the Earth's magnetism. *The Observatory*, 41, 52–60. <http://adsabs.harvard.edu/full/1918Obs...41...52C>, pridobljeno: 26. 12. 2019.
- Chapman, S. (1919 (1997)). The solar and lunar diurnal variations of terrestrial magnetism. *Philosophical Transactions, A*, 218, 1–118. DOI: <https://doi.org/10.1098/rsta.1919.0001>
- Chapman, S., Price, A. T. (1930 (1997)). The Electric and Magnetic State of the Interior of the Earth, as Inferred from Terrestrial Magnetic Variations. *Philosophical Transactions of the Royal Society of London, Series A, X*, 229, 427–460. DOI: <https://doi.org/10.1098/rsta.1930.0010>
- Chapman, S. Regular Motions in the Ionosphere: Electric and Magnetic Relationships. *Bulletin American Meteorological Society*, 1961, 42 (2), 85–100. DOI: <https://doi.org/10.1175/1520-0477-42.2.85>
- Cliver, E. W., Svalgaard, L., Ling, A. G. (2004). Origins of the semiannual variation of geomagnetic activity in 1954 and 1996. *Annales Geophysicae*, 22 (1), 93–100. DOI: <https://doi.org/10.5194/angeo-22-93-2004>
- Courtilot, V., Le Mouél, J. (1988). Time variations of the Earth's magnetic field: From daily to secular. *Annual Review of Earth and Planetary Sciences*, 1988, 16, 389–476. DOI: <https://doi.org/10.1146/annurev.ea.16.050188.002133>
- Cuffaro, M., Riguizzi, F., Scorocca, D., Antonioli, F., Carminati, E., Livani, M., Doglioni, C. (2010). On the geodynamics of the northern Adriatic plate. *Rend. Fis. Acc. Lincei (Rendiconti Lincei. Scienze Fisiche e Naturali)*, 21 (Suppl 1), 253–279. DOI: <https://doi.org/10.1007/s12210-010-0098-9>
- Čop, R., Kosovac, P. (2010). Primerjalne meritve Overhouserjevega protonskega gradiometra. V: M. Kuhar (ur.): *Raziskave s področja geodezije in geofizike* 2009. Ljubljana: Univerza v Ljubljani, Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo, 23–30. [http://fgg-web.fgg.uni-lj.si/SUGG/referati/2010/SZGG2010\\_Cop\\_Kosovac.pdf](http://fgg-web.fgg.uni-lj.si/SUGG/referati/2010/SZGG2010_Cop_Kosovac.pdf), pridobljeno: 26. 12. 2019.
- Čop, R., Deželjin, D., Mihajlović, J. S., Kosovac, P. (2011). Preliminary Measurements of Geomagnetic-field Variations in Slovenia. *Elektrotehniški vestnik*, 78 (3), 96–101. <https://ev.fe.uni-lj.si/3-2011/Cop.pdf>, pridobljeno: 26. 12. 2019.
- Čop, R., Milev, G., Deželjin, D., Kosmač, J. (2014). Protection against lightning at a geomagnetic observatory. *Geoscientific Instrumentation, Methods and Data Systems Discussions*, 3(2), 135–141. DOI: <https://doi.org/10.5194/gi-3-135-2014>
- Čop, R. (2015). Snowstorm at the geomagnetic observatory. *Geoscientific Instrumentation Methods and Data Systems*, 4, 155–159. DOI: <https://doi.org/10.5194/gi-4-155-2015>
- Čop, R., Deželjin, D., De Reggi, R. (2015). Določitev lokalnega geomagnetnega indeksa K. Determination of local geomagnetic K-index. *Geodetski vestnik*, 59 (4), 697–708. DOI: <https://doi.org/10.15292/geodetski-vestnik.2015.04.697-708>
- Čop, R. (2016). Geomagnetne nevihte ob koncu cikla sončnih peg. V: M. Kuhar (ur.) *Raziskave s področja geodezije in geofizike* 2016. Ljubljana: Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo. [http://fgg-web.fgg.uni-lj.si/SUGG/referati/2017/69620SZGG\\_2017\\_Cop.pdf](http://fgg-web.fgg.uni-lj.si/SUGG/referati/2017/69620SZGG_2017_Cop.pdf), pridobljeno: 26. 12. 2019.
- Čop, R. (2016). Vpliv Sonca na prenos merilnih podatkov v realnem času po omrežju mobilne telefonije. *Geodetski vestnik*, 60 (2), 197–211. DOI: <https://doi.org/10.15292/geodetski-vestnik.2016.02.197-211>
- Čop, R. (2017). Sprememba gostote energije v zemeljskem magnetnem polju. *Elektrotehniški vestnik*, 84 (4), 148–154. <https://ev.fe.uni-lj.si/4-2017/Cop.pdf>, pridobljeno: 26. 12. 2019.
- Čop, R., Henigman, F. (2018). Sprejemnik za elektromagnetne valove frekvenc pod 50 Hz. *Elektrotehniški vestnik*, 2018, 85 (4), 155–161. <https://ev.fe.uni-lj.si/4-2018/Cop.pdf>, pridobljeno: 26. 12. 2019.
- Čop, R. (2020). Spremembe števila geomagnetnih neviht in števila sončnih peg: mesečni, desetletni in stoletni naravni cikli. V: M. Kuhar (ur.) *Raziskave s področja geodezije in geofizike* 2019. Ljubljana: Univerza v Ljubljani, Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo. [http://fgg-web.fgg.uni-lj.si/SUGG/referati/2020/SZGG\\_2020\\_Cop.pdf](http://fgg-web.fgg.uni-lj.si/SUGG/referati/2020/SZGG_2020_Cop.pdf), pridobljeno: 26. 12. 2019.
- Flux-Gate Magnetometer LEMI-022\_Sl. User Manual S/N: 021 (2014). Lviv (Ukraina): KMS Technologies; Laboratory for Electromagnetic Innovations.
- Forbush, S. E. (1993). *Cosmic Ray Intensity Variations During Two Solar Cycles*. V: J. A. Van Allen (ur.) *Cosmic rays, the sun, and geomagnetism: the works of Scott E. Forbush*, 37. Washington, D.C.: American Geophysical Union. DOI: <https://doi.org/10.1029/SP037>
- Foufoula-Georgiou, E. (ur.), Kumar, P. (ur.) (1994). *Wavelets in Geophysics*. San Diego: Academic Press, 373 str.
- Fraser-Smith, A. C. (1969). A Possible Full-Moon Enhancement of Hydromagnetic Emission Activity. *Journal of Geophysical Research*, 74 (11), 2987–2995. DOI: <https://doi.org/10.1029/JA074i011p02987>
- Geomagnetic INGV Data Portal (2020). Roma (Italy): Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia. <http://geomag.rm.ingv.it/index.php>, pridobljeno: 30. 12. 2019.
- Jursa, A. S. (ur.) (1985). *Handbook of Geophysics and the Space Environment*. Springfield (VA, US): United States Air Force; Air Force Systems Command; Air Force Geophysics Laboratory. [http://www.cnofs.org/Handbook\\_of\\_Geophysics\\_1985/](http://www.cnofs.org/Handbook_of_Geophysics_1985/), pridobljeno: 26. 12. 2019.
- De Jong, C. D., Lachapelle, G., Skone, G., Elema, I. A. (2002). *Hydrography. Series on Mathematical Geodesy and Positioning*. Delft (Netherlands): Delft University. <https://www.delftacademicpress.nl/bij/a033extract.pdf>, pridobljeno: 26. 12. 2019.

- Kesler, S. B., Haykin, S. A. (1978). A comparison of the maximum entropy method and the periodogram method applied to the spectral analysis of computer-simulated radar clutter. *Canadian Electrical Engineering Journal*.  
https://ieeexplore.ieee.org/document/6594412, pridobljeno: 26. 12. 2019.
- Klausner, V., Papa, A. R. R., Mendes, O., Domingues, M. O., Frick, P. (2013). Characteristics of solar diurnal variations: A case study based on records from the ground magnetic station at Vassouras, Brazil. *Journal of Atmospheric and Solar-Terrestrial Physics*, 92, 124–136.  
DOI: <http://doi.org/10.1016/j.jastp.2012.10.007>
- Kowalik, Z., Luick, J. (2013). *The Oceanography of Tides*. Fairbanks (US): University of Alaska, 2013.
- Kumar, P., Foufoula-Georgiou, E. (1997). Wavelet analysis for geophysical applications. *Reviews of Geophysics*, 35 (4), 385–412.  
DOI: <http://doi.org/10.1029/97RG00427>
- Love, J. J., Remick, K. J. (2007). *Magnetic Indices. V: Encyclopedia of Geomagnetism and Paleomagnetism*. Dordrecht (Nizozemska), Springer, 509–512.  
DOI: [http://doi.org/10.1007/978-1-4020-4423-6\\_178](http://doi.org/10.1007/978-1-4020-4423-6_178)
- Lyons, G. R. (2011). *Understanding Digital Signal Processing*. Third edition. Upper Saddle River (NJ, US): Prentice Hall, 2011. <http://www.iro.umontreal.ca/~mignotte/IFT3205/Documents/UnderstandingDigitalSignalProcessing.pdf>, pridobljeno: 26. 12. 2019.
- Matsushita, S. (1968). Sq and L Current Systems in the Ionosphere. *Geophysical Journal International*, 15 (1–2), 109–125.  
DOI: <https://doi.org/10.1111/j.1365-246X.1968.tb05751.x>
- Menvielle, M., Papitashvili, N., Häkkinen, L., Sucksdorff, C. (1995). Computer production of K indices: review and comparison of methods. *Geophysical Journal International*, 123, 866–886.  
DOI: <https://doi.org/10.1111/j.1365-246X.1995.tb06895.x>
- MICA, The Multiyear Interactive Computer Almanac 1800–2050 (2012). U.S. Naval Observatory, ZDA. [https://www.willbell.com/almanacs/almanac\\_mica.htm](https://www.willbell.com/almanacs/almanac_mica.htm), pridobljeno: 26. 12. 2019.
- Obiekiezie, T. N., Obiadazie, S. C., Agbo, G. A. (2013). Day-to-Day Variability of H and Z Components of the Geomagnetic Field at the African Longitudes. *ISRN Geophysics*. DOI: <https://doi.org/10.1155/2013/909258>
- Paliska, D., Čop, R., Fabjan, D. (2010). The use of GIS-based spatial multi-criteria evaluation in the selection process for the new Slovenian geomagnetic observatory site. *Annales. Series historia naturalis*, 2010, 20 (1), 67–74. <https://zdpj.si/wp-content/uploads/2015/12/paliska.pdf>, pridobljeno: 26. 12. 2019.
- Pavlovčič-Prešeren, P., Čop, R., Kuhar, M. (2020). The Use of Geomagnetic Measurements to Study Local Tectonics: Case for the NE Part of the Adria-Eurasia Collisional Zone. *Open Journal of Earthquake Research*, 9, 83–99. <https://www.scirp.org/journal/paperinformation.aspx?paperid=98805>, pridobljeno: 26. 12. 2019.
- qrznw.com (2020). <https://qrznw.com/wp-content/uploads/2020/01/Sunspot-activity-observation-dec6-e1544118001987.jpeg>, pridobljeno 25. 4. 2020.
- Rostoker, G. (1972). Geomagnetic indices. *Reviews of Geophysics*, 10 (4), 935–950. DOI: <https://doi.org/10.1029/RG010i004p00935>
- Russel, C. T., McPherron, R. L. (1973). Semiannual variation of geomagnetic activity. *Journal of Geophysical Research*, 78 (1), 92–108. DOI: <https://doi.org/10.1029/JA078i001p00092>
- Schuster, A. (1908 (1997)). IV. The diurnal variation of terrestrial magnetism. *Philosophical Transactions of the Royal Society of London. Series A, Containing Papers of a Mathematical or Physical Character*, 208, 163–204. DOI: <https://doi.org/10.1098/rsta.1908.0017>
- Serpelloni, E., Faccenna, C., Spada, G., Dong, D., Williams S. D. (2013). Vertical GPS ground motion rates in the Euro-Mediterranean region: New evidence of velocity gradients at different spatial scales along the Nubia-Eurasia plate boundary. *Journal of Geophysical Research: Solid Earth*, 118, 6003–6024. DOI: <https://doi.org/10.1002/2013JB010102>
- Smith, W. S. (1999). *The Scientist and Engineer's Guide to Digital Signal Processing*. San Diego (California, USA): California Technical. <http://www.dspguide.com/pdfbook.htm>, pridobljeno: 26. 12. 2019.
- Soddoqui, A. T. (2017). Long-term investigation of the lunar tide in the equatorial electrojet during Stratospheric Sudden Warmings. *Doktorska disertacija*. Potsdam: Univerza v Potsdamu. [https://publishup.uni-potsdam.de/opus4-ubp/frontdoor/deliver/index/docId/40638/file/siddiqui\\_diss.pdf](https://publishup.uni-potsdam.de/opus4-ubp/frontdoor/deliver/index/docId/40638/file/siddiqui_diss.pdf), pridobljeno: 26. 12. 2019.
- Sterle, O., Stopar, B., Pavlovčič-Prešeren, P. (2013). Modeliranje ionosferske refrakcije za izboljšavo absolutnega GPS-položaja s kodnimi instrumenti: priprava na 24. Sončev cikel. *Geodetski vestnik*, 57 (1), 9–24. DOI: <https://doi.org/10.15292/geodetski-vestnik.2013.01.009-024>
- Yamazaki, Y., Richmond, A. D., Yumoto, K. (2012). Stratospheric warmings and the geomagnetic lunar tide: 1958–2007. *Journal of Geophysical Research*, 117, A04301. DOI: <https://doi.org/10.1029/2012JA017514>
- Yamazaki, Y., Kosch, M. J. (2014). Geomagnetic lunar and solar daily variations during the last 100 years. *Journal of Geophysical Research: Space Physics*, 2014, 119, 6732–6744. DOI: <https://doi.org/10.1002/2014JA020203>
- Yizengaw, E., Carter, A. B. (2017). Longitudinal, seasonal and solar cycle variation in lunar tide influence on the equatorial electrojet. *Annales Geophysicae*, 35, 525–533. DOI: <https://doi.org/10.5194/angeo-35-525-2017>
- Volland, H. (1988). *Atmospheric Tidal and Planetary Waves*. Atmospheric and Oceanographic Sciences Library. Dordrecht (Nizozemska): Springer Netherlands, 1988.
- Weber, J., Vrabec, M., Pavlovčič-Prešeren, P., Dixon, T., Jiannh, Y., Stopar, B. (2010). GPS-derived motion of the Adriatic microplate from Istria Peninsula and Po Plain sites, and geodynamic implications. *Tectonophysics*, 2010, 483, 214–222. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.tecto.2009.09.001>



Kuhar M., Čop R., Pavlovčič Prešeren P. (2020). Določitev vpliva Lune na geomagnetni šum. Geodetski vestnik, 64 (3), 303-319.  
DOI: <https://doi.org/10.15292/geodetski-vestnik.2020.03.303-319>

---

**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](mailto:miran.kuhar@fgg.uni-lj.si)

**doc. dr. Polona Pavlovčič Prešeren, univ. dipl. inž. geod.**  
Univerza v Ljubljani, Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo  
Jamova cesta 2, SI-1000 Ljubljana  
e-naslov: [polona.pavlovcic@fgg.uni-lj.si](mailto:polona.pavlovcic@fgg.uni-lj.si)

**ddr. Rudi Čop, univ. dipl. inž. elek.**  
Zavod Terra Viva  
Sv. Peter 115, SI-6333 Sečovelje  
e-naslov: [rudi@artal.si](mailto:rudi@artal.si)

# DOLOČITEV POLOŽAJA CERKVENEGA ZVONIKA S TERESTRIČNIM LASERSKIM SKENIRANJEM

# DETERMINATION OF CHURCH BELFRY POSITION USING TERRESTRIAL LASER SCANNING

Tine Hren, Klemen Kregar, Aleš Marjetič

UDK: 528.7:726  
Klasifikacija prispevka po COBISS.SI: 1.01  
Prispelo: 19. 6. 2020  
Sprejeto: 9. 9. 2020

DOI: 10.15292/geodetski-vestnik.2020.03.320-334  
SCIENTIFIC ARTICLE  
Received: 19. 6. 2020  
Accepted: 9. 9. 2020

## IZVLEČEK

Cerkveni zvoniki so bili zaradi svoje oblike in višje postavitve v preteklosti primerne orientacijske točke pri detajlni izmeri. Z razvojem metod satelitske izmere in predvsem uvedbo koordinatnega sistema D96/TM so počasi izgubljali pomen. Kljub temu so v primerjavi s talnimi trigonometričnimi točkami večinoma ostali nedotaknjeni. Kot takšni omogočajo določitev transformacijskih parametrov med starim in novim koordinatnim sistemom. Zato potrebujemo določitev njihovih položajev tudi v novem koordinatnem sistemu. V prispevku opisujemo postopek določitve položaja cerkvenega zvonika s terestričnim laserskim skeniranjem (TLS) na primeru obeh zvonikov Trnove cerkve. Postopek vključuje določitev koordinat oslonilnih točk za georeferenciranje oblakov točk. To zahteva določitev geodetskega datuma s kombinacijo izmere GNSS in geometričnega nivelmana ter klasično izmero geodetske mreže z izravnavo proste mreže in uporabo postopka S-transformacije. Na podlagi georeferenciranih oblakov točk smo določili položaj trigonometrične točke zvonika z izravnavo parametrov krogle. Podatke filtriramo z algoritmom RANSAC, tako da imamo v izravnavi res le točke, ki pripadajo krogli. Rezultate smo primerjali s položaji, določenimi na podlagi klasične terestrične geodetske izmere.

## ABSTRACT

In the past, church belfries, due to their shape and higher layout, often served as reference points in surveying. With the development of satellite based positioning methods and the establishment of the D96/TM coordinate system, they slowly lost their significance. Nevertheless, unlike ground trigonometric points, they have remained largely intact. As such, they enable the determination of transformation parameters between the old and the new coordinate systems. Therefore, we need to determine their positions in the new coordinate system. In this paper, we describe the process of determining the position of church belfries using terrestrial laser scanning (TLS) in the case of both belfries of the Trnovo church. The process involves determining coordinates of the tie points for georeferencing the point clouds, which requires the determination of the geodetic datum by a combination of GNSS measurement and geometric levelling, and the classical geodetic survey of the geodetic network with free-network adjustment and further use of the S-transformation. Based on the georeferenced point clouds, we determined the position of the trigonometric point by sphere parameters adjustment. The data is filtered using the RANSAC so that we only have points that belong to the sphere in the adjustment process. The results were compared with the positions determined based on the classical terrestrial geodetic survey.

## KLJUČNE BESEDE

cerkveni zvonik, državni koordinatni sistem, geodetska mreža, terestrično lasersko skeniranje, georeferenciranje, oblak točk, izravnava po metodi najmanjših kvadratov, RANSAC

## KEY WORDS

church belfry, national coordinate system, geodetic network, terrestrial laser scanning, georeferencing, point cloud, least-squares adjustment, RANSAC

## 1 UVOD

Cerkveni zvoniki so imeli v zgodovinskem razvoju geodezije zelo pomembno vlogo. Cerkve so zaradi višine in lokacije običajno izstopajoči objekti v naseljih ali celo stojijo na vrhu hribov, zaradi česar so njihovi zvoniki vidni daleč naokrog in precej bolj odporni proti uničenju kot talne trigonometrične točke. Te so pogosto uničene zaradi naravnih vplivov ali gradbenih posegov v prostor, dandanes pa ni več interesa za njihovo obnovo. Že v preteklosti so cerkvene zvonike zaradi njihove oblike in vidnosti pogosto uporabljali kot izhodišče za terenske izmere oziroma določitev položaja geodetskih točk nižjih redov, predvsem pri polarni metodi izmere. Podatke o njihovem položaju in stanju je v svojih bazah redno vzdrževala Geodetska uprava Republike Slovenije (v nadaljevanju: GURS), koordinate v teh bazah pa se nanašajo na ravninski koordinatni sistem D48/GK.

Začetki starega državnega koordinatnega sistema segajo v obdobje avstro-ogrske monarhije. S kratiko D48/GK označujemo letnico vzpostavitve slovenske astro-geodetske mreže (1948) in Gauß-Krügerjevo projekcijo. GURS je v začetku leta 2008 začel upajati državni koordinatni sistem D96/TM na podlagi 139. člena Zakona o evidentiranju nepremičnin – ZEN (2006). Oznaka D96/TM pomeni letnico določitve 1996 in transverzalno Mercatorjevo projekcijo, kar je pravzaprav splošno uveljavljeno ime za Gauß-Krügerjevo projekcijo. Z oznako TM poudarjamo le, da gre za nov koordinatni sistem. Novi koordinatni sistem smo v Sloveniji uvedli tudi za višine v letu 2018 z oznako SVS2010/Koper. Parametri so določeni z Uredbo o določitvi parametrov višinskega dela vertikalne sestavine državnega prostorskega koordinatnega sistema (2018).

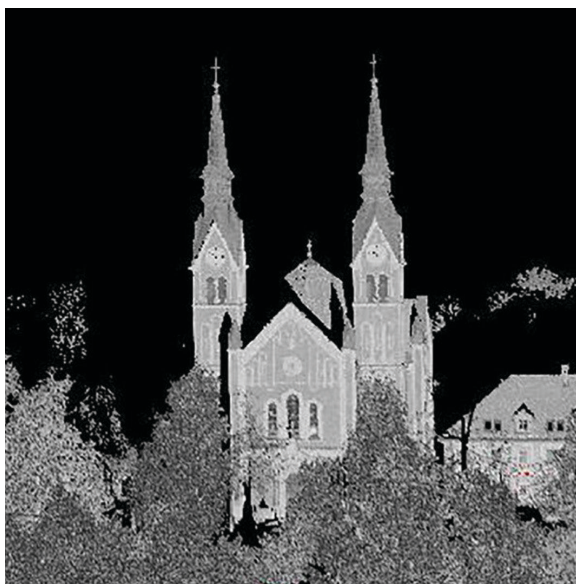
Z razvojem geodezije, še posebej z uvedbo tehnologije GNSS, so trigonometrične mreže izgubljale pomen. Predvsem se je njihova uporaba začela opuščati z uvajanjem novega državnega koordinatnega sistema D96/TM po letu 2008. Cerkveni zvoniki so tako izgubili svojo vlogo v geodeziji. Kljub temu ostaja dejstvo, da so v nasprotju s preostalimi, predvsem talnimi trigonometričnimi točkami, ki so večinoma uničene, povečini ostali nedotaknjeni. Zato imajo podatki o njihovih položajih neprecenljivo vrednost, omogočajo namreč zvezni prehod med starim in novim državnim koordinatnim sistemom na manjšem območju izmere (Marjetič in Pavlovčič, 2018), določitev kakovostnejših transformacijskih parametrov med starim in novim koordinatnim sistemom ali vsaj oceno kakovosti parametrov te transformacije. Za vse to pa potrebujemo kakovostne položaje cerkvenih zvonikov v novem državnem koordinatnem sistemu D96/TM.

V nadaljevanju prikazujemo inovativen način določanja koordinat zvonikov v D96/TM, in sicer s terestričnim laserskim skeniranjem (v nadaljevanju: TLS) ob podpori drugih geodetskih merskih metod za umestitev skeniranega oblaka točk v državni koordinatni sistem na podlagi oslonilnih točk. Postopek določitve koordinat oslonilnih točk temelji na kombinaciji izmere GNSS in klasične terestrične geodetske izmere.

Georeferenciran oblak točk je v konkretnem primeru podlaga za določitev položaja trigonometrične točke z izravnavo parametrov krogle. Trigonometrična točka je namreč pri večini cerkvenih zvonikov določena pod jabolkom zvonika (slika 5), ki jo po obliki predpostavimo kot prisekano kroglo, na kateri stoji križ. Koordinate so tako določene s središčem te krogle.

Postopek smo uporabili za določitev koordinat obeh zvonikov Trnovske cerkve (slika 1) v Ljubljani. Za to delovišče smo se odločili, ker smo želeli preveriti smiselnost uporabe metode TLS za določanje položaja

cerkvenega zvonika. Koordinate smo lahko primerjali s koordinatami, določenimi s klasično terestrično geodetsko izmero (Marjetič in Pavlovčič Prešeren, 2018). Ker ima Trnovska cerkev dva zvonika, nam omogoča tudi relativno primerjavo med starim in novim državnim koordinatnim sistemom. Tako smo lahko na primeru preprostega izračuna razdalje med zvonikoma preverili kakovost določitve koordinat v starem koordinatnem sistemu, brez vpliva transformacije.



Slika 1: Oblak točk Trnovske cerkve.

V članku predstavljeni postopek spada na področje kombiniranja različnih geodetskih merskih tehnik. Poudarek je seveda na metodi TLS, ki vključuje več faz obdelave skenograma. Na temo registracije in georeferenciranja oblakov točk obstaja vrsta raziskav in iz njih izvedenih postopkov (Besl in McKay, 1992). Najširše uporabljena metoda registracije je ICP (angl. *Iterative Closest Point*, He in sod., 2017). Georeferenciranje je na drugi strani ključen postopek umeščanja oblaka točk v zunanji koordinatni sistem (Kraus, 2000), kar je v našem primeru osnovni pogoj, saj želimo z modeliranjem iz oblaka točk in določanjem geometrijskih lastnosti objekta določiti položaj točno določene točke na zvoniku v državnem koordinatnem sistemu. Primernost metode TLS se je sicer izkazala že v več primerih iskanja geometrijskih lastnosti objektov: pri modeliranju cerkvenega zvonika (Oleniacz in sod., 2017), določevanju geometrije tirnic žerjavne proge (Kregar in sod., 2017), določevanju vertikalnosti dimnikov (Barazzeti in sod., 2019, Kregar in sod., 2015) itd., kjer sicer umeščanje v zunanji/globalni/državni koordinatni sistem ni pogoj. V povezavi z arhitekturnimi objekti se metoda TLS povečini uporablja za vizualizacije za namen arhiviranja in obnov zgodovinskih objektov (Petrovič in sod., 2019), kamor spadajo tudi cerkve.

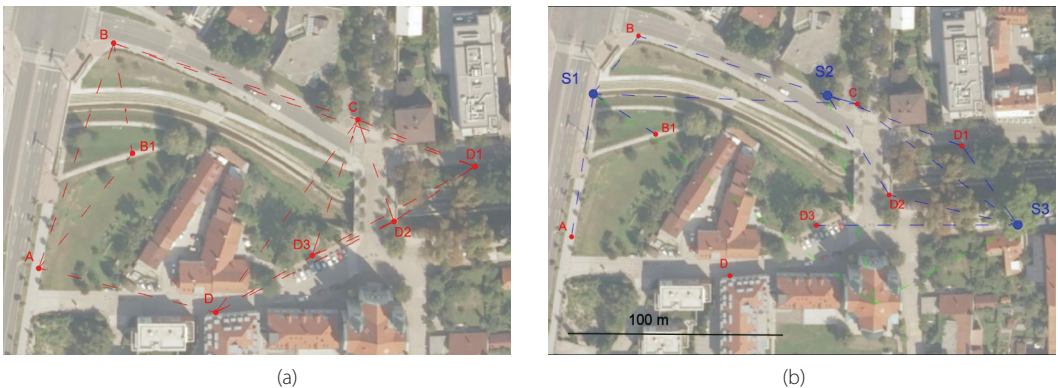
Cilj obdelave v obravnavanem primeru je določitev koordinat specifične točke na cerkvenem zvoniku. Način določitve je v smislu povezovanja merskih metod inovativen in zagotavlja kakovostne rezultate, kar skušamo v nadaljevanju tudi predstaviti in potrditi.



## 2 METODE IZMERE IN OBDELAVA OPAZOVANJ

### 2.1 Vzpostavitev koordinatne osnove

V okolici Trnovske cerkve so bile že za potrebe predhodnih izmer, s katerimi smo določali položaj cerkvenih zvonikov v novem koordinatnem sistemu, trajno stabilizirane štiri geodetske točke (Marjetič in Pavlovčič Prešeren, 2018). Te točke so bile vključene v geodetsko mrežo, s katero smo zagotavljali geodetski datum pri klasični določitvi položaja cerkvenih zvonikov. Stabilizirane so s kovinskimi čepi na pločnikih pred cerkvijo ter na obeh bregovih Gradaščice. Za potrebe georeferenciranja oblakov točk potrebujemo več oslonilnih točk s kakovostno določenimi koordinatami. Še posebej to velja na tem območju, kjer zagotavljanje vizur ovirata gosta pozidava in bujno rastje. V osnovi za georeferenciranje oblaka točk zadostujejo tri oslonilne točke. V našem primeru smo cerkvena zvonika zajeli s treh stojšč skenerja (slika 2b). Če bi torej imeli le tri oslonilne točke, bi morale biti jasno vidne z vseh treh stojšč. Zaradi ovir je bilo to neizvedljivo, zato smo vzpostavili več (osem) oslonilnih točk ter jih s kombinacijo GNSS in klasičnih terestričnih meritev povezali v geodetsko mrežo (slika 2a). Pri tem smo uporabili tri trajno stabilizirane točke (A, B, C) in pet dodatnih, ki smo jih stabilizirali le začasno s stativi. Namen je bil vzpostaviti kakovostno koordinatno osnovo za georeferenciranje oblaka točk.



Slika 2: Geodetska mreža (a) in položaj stojšč skenerja (b) (podlaga DOF; GURS, 2019).

Izmero geodetske mreže smo izvedli s tahimetrom na petih stojščih (A, B, C, D, D2 na sliki 2a), v štirih girusih. S tem smo zagotovili kombinirane triangulacijsko-trilateracijske meritve za izravnavo geodetske mreže po metodi najmanjših kvadratov. Geodetski datum v tem primeru zagotovimo z izravnavo proste mreže in uporabo postopka S-transformacije, kjer kot dane uporabimo točke A, B in C, s predhodno določenimi koordinatami v državnem koordinatnem sistemu z metodo GNSS. Postopek S-transformacije (Marjetič in Stopar, 2007, Baarda, 1981) nam zagotovi določitev geodetskega datuma z minimalnimi popravki koordinat danih točk, pri tem pa ne vpliva na geometrijo mreže.

Priprava vhodnih podatkov za postopek izravnave zahteva izračun sredin girusov, redukcijo poševnih dolžin na raven državnega koordinatnega sistema, izračun približnih koordinat in zagotovitev koordinat danih točk. Koordinate točk za zagotovitev geodetskega datuma smo določili s statično metodo GNSS. Na podlagi hkratnih statičnih opazovanj GNSS, ki so trajala približno 120 minut, opazovanj stalne GNSS postaje omrežja SIGNAL, preciznih efemerid in parametrov anten smo določili položaj danih točk A, B in

C. Interval registracije med izmero je bil nastavljen na 1 s, minimalni višinski kot pa na 10°. Pri obdelavi smo uporabili hitre precizne efemeride IGR službe IGS (angl. *International GNSS Service*; IGS, 2020), opazovanja stalne postaje omrežja SIGNAL – GSR1 (SIGNAL, 2020) in kalibracijske parametre anten službe NGS (angl. *National Geodetic Survey*; NGS, 2020). V preglednici 1 so prikazani rezultati obdelave opazovanj GNSS. Navedene vrednosti za oceno natančnosti koordinat so seveda preценjene. Razlog je v navezavi na samo eno stalno postajo omrežja SIGNAL, zaradi česar je geodetski datum poddoločen in posledično ne kvari notranje geometrije mreže, ter v velikem številu nadštevlnih meritev (posledica sekundnega intervala registracije med izvajanjem meritev).

Preglednica 1: Koordinate GNSS-točk v državnem koordinatnem sistemu D96/TM in višinskem sistemu SVS2010/Koper.

| Točka | $e$ [m]     | $n$ [m]     | $H$ [m] | $\sigma_e$ [mm] | $\sigma_n$ [mm] | $\sigma_H$ [mm] |
|-------|-------------|-------------|---------|-----------------|-----------------|-----------------|
| A     | 461.331,319 | 100.486,251 | 293,122 | 0,1             | 0,0             | 0,1             |
| B     | 461.364,774 | 100.584,163 | 293,612 | 0,1             | 0,0             | 0,1             |
| C     | 461.462,245 | 100.552,567 | 292,432 | 0,2             | 0,1             | 0,2             |

Splošno velja, da je višinska komponenta, določena z metodo GNSS, precej slabše kakovosti. Zaradi neposredne bližine reperjev mestne nivelmanske mreže Ljubljana smo v obravnavani geodetski mreži za določitev višine točke C uporabili metodo preciznega geometričnega nivelmana. Višinsko izhodišče je predstavljal reper mestne nivelmanske mreže v neposredni bližini. Višinska geodetska mreža je bila nato izravnana z dano višino točke C. Merjene višinske razlike v mreži smo zagotovili z metodo trigonometričnega višinomerstva.

Pri terenski izmeri smo uporabljali naslednji instrumentarij in pribor:

- **Statična izmera GNSS:**
  - tri GNSS-sprejemnike Leica GS18: natančnost pri statični izmeri  $\sigma_{\text{ISO-17123-8}}$ : Hz: 3 mm, 0,1 ppm; V: 3,5 mm, 0,4 ppm (Leica Geosystems, 2017; slika 3 a);
  - stativi, podnožja s peclji in nastavki za anteno in merski trak.
- **Klasična geodetska izmera:**
  - tahimeter Leica TS30: natančnost merjenja smeri  $\sigma_{\text{ISO-17123-3}}$ : 0,5"; natančnost merjenja dolžin  $\sigma_{\text{ISO-17123-4}}$ : 0,6 mm, 1 ppm (Leica Geosystems, 2013; slika 3 b);
  - stativi, podnožja s peclji, precizni reflektorji s prizmo Wild GPH1P, merski trak in vremenska postaja.
- **Geometrični nivelman:**
  - digitalni nivelir Leica DNA03: natančnost odčitkov na invar nivelmanski lati  $\sigma_{\text{ISO-17123-2}}$ : 0,3 mm/ km dvojnega nivelmana (Leica DNA03 Manual, 2006);
  - stativ, invar nivelmanske late Leica GPCL2 in podložke.





(a)



(b)

Slika 3: Statična metoda izmere GNSS z instrumentom Leica GS18 (a) in klasična geodetska izmera s tahimetrom Leica TS30 (b).

Koordinate točk mreže so predstavljene v preglednici 2. Določene so v državnem koordinatnem sistemu D96/TM in višinskem sistemu SVS2010/Koper. Pri izračunu višin oslonilnih točk je upoštevana konstantna višinska razlika med centrom reflektorja in centrom tarče skenerja (slika 4b).

Preglednica 2: Koordinate oslonilnih točk v državnem koordinatnem sistem D96/TM in SVS2010/Koper.

| Točka | $e$ [m]      | $n$ [m]      | $H$ [m]  | $\sigma_e$ [mm] | $\sigma_n$ [mm] | $\sigma_H$ [mm] |
|-------|--------------|--------------|----------|-----------------|-----------------|-----------------|
| A     | 461.331,3166 | 100.486,2505 | 295,0648 | 0,4             | 0,5             | 0,9             |
| B     | 461.364,7706 | 100.584,1631 | 295,5448 | 0,5             | 0,4             | 0,7             |
| C     | 461.462,2508 | 100.552,5674 | 294,2712 | 0,7             | 0,2             | 0,0             |
| B1    | 461.369,3437 | 100.537,4125 | 293,3525 | 0,5             | 0,8             | 1,4             |
| D     | 461.415,9137 | 100.474,4054 | 293,5724 | 1,1             | 0,6             | 0,8             |
| D1    | 461.512,3730 | 100.532,0211 | 293,5790 | 1,0             | 0,5             | 0,8             |
| D2    | 461.478,8649 | 100.508,6190 | 294,2881 | 0,8             | 0,6             | 1,0             |
| D3    | 461.443,9452 | 100.494,9798 | 294,0273 | 1,0             | 0,6             | 1,2             |

## 2.2 Terestrično lasersko skeniranje

Terestrično lasersko skeniranje smo izvedli s treh možnih stojišč (slika 2b), da smo zajeli vrh zvonika z vseh strani. Oslonilne točke smo imeli že stabilizirane s stativi, le reflektorje smo zamenjali s tarčami skenerja (slika 4b). Tako smo se izognili morebitnim pogreškom pri ponovnem centriranju. Tarče smo skenirali podrobneje s posebej vgrajeno funkcijo, oba zvonika v omejenem obsegu (samo vrh) pa s prostorsko resolucijo 2 mm.

Pri terenski izmeri smo uporabili:

- terestrični laserski skener Riegl VZ-400 (Riegl Laser Measurements System, 2019): točnost meritev dolžin: 5 mm, natančnost meritev dolžin: 3 mm, divergenca laserskega žarka: 0,35 mrad;
- pribor (stativi, podnožja s peclji in nastavki za tarče, Tilt&Turn tarče Leica HDS 6", slika 4b).



(a)



(b)

Slika 4: Terestrično lasersko skeniranje z instrumentom Riegl VZ400 (a) in tarča skenerja (b).

Za obdelavo podatkov terestričnega laserskega skeniranja smo uporabili program RiSCAN PRO (RIEGL Laser Measurement Systems GmbH). V osnovi poznamo šest korakov za obdelavo skenogramov, to so vizualizacija, organizacija podatkov, filtriranje, segmentacija, registracija in georeferenciranje, po navadi v tem vrstnem redu.

V fazi vizualizacije že na terenu preverjamo, ali je obravnavani objekt v celoti zajet z zadostnim številom točk. Dopolnjevanje oblaka točk z naknadnimi meritvami bi v našem primeru pomenilo veliko dodatnega dela v obliki ponovne izmere mreže, saj so oslonilne točke (tarče) samo začasno stabilizirane.

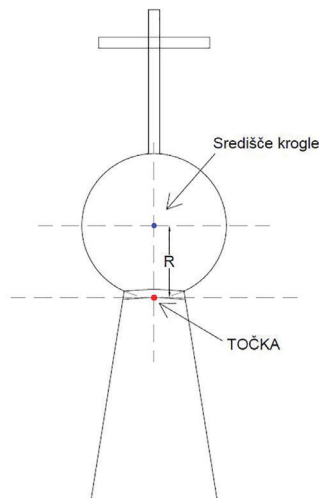
Kadar je objekt zajet z več stojišč, imamo več skenogramov, ki jih združimo v postopku registracije, tej pa sledi georeferenciranje. V našem primeru med skenogrami zaradi nedostopnosti objekta (vrh zvonika) nismo zagotovili veznih točk, zato smo se odločili za registracijo prek oslonilnih točk. Opraviti smo jo poskusili z metodo MSA (*Multi Station Adjustment*; RIEGL Laser Measurement Systems, 2004), vendar rezultati niso bili zadovoljivi. Ker smo skenirali samo vrh zvonikov (območje okrog jabolka), program RiSCAN PRO, verjetno zaradi majhnega števila in nepravilnosti geometrijskih oblik med skenogrami s posameznih stojišč, ni našel dovolj točk za kakovostno skupno izravnavo. Tudi rezultati na koncu niso bili smiselni, saj je bil radij krogle jabolka celo večji za registriran oblak, kot če registracije ne bi opravili.

Program RiSCAN PRO v osnovi loči tri koordinatne sisteme: skenerjev lastni koordinatni sistem oziroma koordinatni sistem posameznega stojišča, projektni koordinatni sistem in zunanji oziroma globalni koordinatni sistem. V našem primeru imamo tri stojišča, in . Ob registraciji oblakov točk v enoten lokalni koordinatni sistem bi imeli vsi trije določen položaj v enem projektnem koordinatnem sistemu. V našem primeru smo določali položaj točno določene točke (slika 5) v globalnem oziroma državnem koordinatnem sistemu D96/TM z višinskim datumom SVS2010/Koper, kar predstavlja naš globalni koordinatni sistem.

### 3 DOLOČITEV POLOŽAJA CERKVENEGA ZVONIKA

#### 3.1 Izravnava parametrov krogle

Položaj cerkvenih zvonikov določamo na podlagi modeliranja iz oblaka točk ob predpostavljani obliki krogle jabolka na cerkvenem zvoniku. Položaj določamo na podlagi parametrov krogle, ki jih izračunamo z izravnavo po metodi najmanjših kvadratov (MNK). Po definiciji je krogla geometrijsko telo, definirano kot množica točk v 3D-prostoru (Urbančič in sod., 2014). Vse točke so od središča krogle ( $x_0, y_0, z_0$ ) enako oddaljene, in sicer za vrednost polmera krogle  $R$ . Središče in polmer krogle sta parametra, s katerima je krogla enolično določena. V horizontalnem koordinatnem sistemu je položaj zvonika določen s koordinatama centra krogle ( $x_0, y_0$ ). Po višini predpostavljamo, da je trigonometrična točka določena s koordinato centra krogle ( $z_0$ ) in odštetim polmerom  $R$  (slika 5).



Slika 5: Trigonometrična točka na cerkvenem zvoniku.

Krogla je v 3D-prostoru določena z enačbo (1):

$$(x_i - x_0)^2 + (y_i - y_0)^2 + (z_i - z_0)^2 - (R)^2 = 0, \quad (1)$$

kjer  $(x_i, y_i, z_i)$  predstavljajo koordinate točke na krogli ( $i = 1 \dots n$ ,  $n$  – št. točk), ki predstavljajo meritve v modelu (1). Glede na uporabljeno gostoto skeniranja (2 mm) imamo na voljo nadštevilne meritve. Problem določitve parametrov krogle ( $x_0, y_0, z_0, R$ ) rešujemo s splošnim modelom izravnave po metodi

najmanjših kvadratov (Teunissen, 2003). Pri tem predpostavimo, da so vse točke določene z enako natančnostjo, zato je matrika uteži opazovanj enotska.

Kot vhodni podatek v izravnavo smo v tej fazi uporabili samo oblak točk spodnje polovice jabolka zvonika, saj predvidevamo, da jabolko v celoti nima oblike krogle, kar tudi potrdimo v poglavju 3.2. Postopek izravnavo smo izvedli tako za točke iz vsakega posameznega skenograma kot tudi za združene podatke. Preglednici 3 in 4 prikazujeta parametre krogle za oba zvonika Trnovske cerkve, izračunane iz skenogramov s treh stojišč,  $\epsilon_0$ ,  $\sigma_{\epsilon_0}$ ,  $n_0$ ,  $\sigma_{n_0}$ ,  $H_0$ ,  $\sigma_{H_0}$ ,  $R$  in  $\sigma_R$ , ter iz združenega oblaka točk (skupaj). Trnovska cerkev ima dva zvonika, vzhodnega in zahodnega. Položaj smo določili obema. Uradni oznaki točk v trigonometrični mreži sta 240-C1 (vzhodni zvonik) in 240-C2 (zahodni zvonik).

Preglednica 3: Parametri krogle vzhodnega zvonika (240-C1) v D96/TM in SVS2010/Koper.

|                      | Središče krogle     |                               |              |                        |              | Polmer                 |            |                    |
|----------------------|---------------------|-------------------------------|--------------|------------------------|--------------|------------------------|------------|--------------------|
|                      | $\epsilon_0$<br>[m] | $\sigma_{\epsilon_0}$<br>[mm] | $n_0$<br>[m] | $\sigma_{n_0}$<br>[mm] | $H_0$<br>[m] | $\sigma_{H_0}$<br>[mm] | $R$<br>[m] | $\sigma_R$<br>[mm] |
| <b>S<sub>1</sub></b> | 461.478,909         | 0.11                          | 100.475,707  | 0.09                   | 339,704      | 0.14                   | 0,253      | 0.13               |
| <b>S<sub>2</sub></b> | 461.478,900         | 0.09                          | 100.475,720  | 0.08                   | 339,708      | 0.11                   | 0,255      | 0.10               |
| <b>S<sub>3</sub></b> | 461.478,916         | 0.06                          | 100.475,719  | 0.04                   | 339,705      | 0.09                   | 0,252      | 0.06               |
| <b>Skupaj</b>        | 461.478,911         | 0.04                          | 100.475,715  | 0.05                   | 339,712      | 0.04                   | 0,259      | 0.06               |

Preglednica 4: Parametri krogle zahodnega zvonika (240-C2) v D96/TM in SVS2010/Koper.

|                      | Središče krogle     |                               |              |                        |              | Polmer                 |            |                    |
|----------------------|---------------------|-------------------------------|--------------|------------------------|--------------|------------------------|------------|--------------------|
|                      | $\epsilon_0$<br>[m] | $\sigma_{\epsilon_0}$<br>[mm] | $n_0$<br>[m] | $\sigma_{n_0}$<br>[mm] | $H_0$<br>[m] | $\sigma_{H_0}$<br>[mm] | $R$<br>[m] | $\sigma_R$<br>[mm] |
| <b>S<sub>1</sub></b> | 461.461,491         | 0.10                          | 100.475,971  | 0.08                   | 339,662      | 0.11                   | 0,252      | 0.11               |
| <b>S<sub>2</sub></b> | 461.461,488         | 0.03                          | 100.475,985  | 0.07                   | 339,661      | 0.09                   | 0,249      | 0.07               |
| <b>S<sub>3</sub></b> | 461.461,500         | 0.08                          | 100.475,981  | 0.04                   | 339,662      | 0.11                   | 0,250      | 0.08               |
| <b>Skupaj</b>        | 461.461,495         | 0.06                          | 100.475,977  | 0.08                   | 339,669      | 0.09                   | 0,257      | 0.05               |

Iz preglednic 3 in 4 vidimo, da je polmer krogle za združen oblak (skupaj) točk nekoliko večji (do nekaj milimetrov) kot pri določitvi s posameznega stojišča. To je posledica tega, da oblakov točk s posameznih stojišč nismo združevali v postopku registracije iz zgoraj navedenih razlogov, ampak smo opravili kar georeferenciranje oblaka na posameznem stojišču in jih nato združili. Izračunane krogle s posameznih stojišč so lahko tako nekoliko manjše (manjši  $R$ ) od izračunane krogle za združen oblak točk. Ali drugače, oblaki točk s posameznih stojišč so lahko med sabo nekoliko razmaknjeni. Razmaknjenost oblakov točk je lahko tudi posledica neupoštevanja redukcij dolžin za meteorološke vplive, kot je na primer prvi popravek hitrosti (Kogoj, 2005). To ne vpliva bistveno na določitev horizontalnega položaja. Zagotovljena mora biti le osna simetričnost (vertikalna os), ki pa jo zagotovimo z združenim oblakom z vseh stojišč. Negativen vpliv je lahko samo na določitev višine, vendar glede na metodo in pričakovano natančnost napaka velikostnega reda milimetra nima bistvenega pomena.

Za smiselno primerjavo različnih metod določitve položaja cerkvenega zvonika potrebujemo tudi podatek o natančnosti rezultatov. Pri klasični geodetski izmeri natančnost ocenimo med izravnavo geodetske mreže. Iz teh rezultatov smo dobili podatek o natančnosti koordinat oslonilnih točk, ki so bile vključene v geodetsko mrežo in smo jih kasneje uporabili za georeferenciranje (preglednica 2). V programu RiSCAN PRO se pojavi težava z določanjem natančnosti koordinat točk v oblaku, saj jo lahko ob georeferenciranju oziroma registraciji

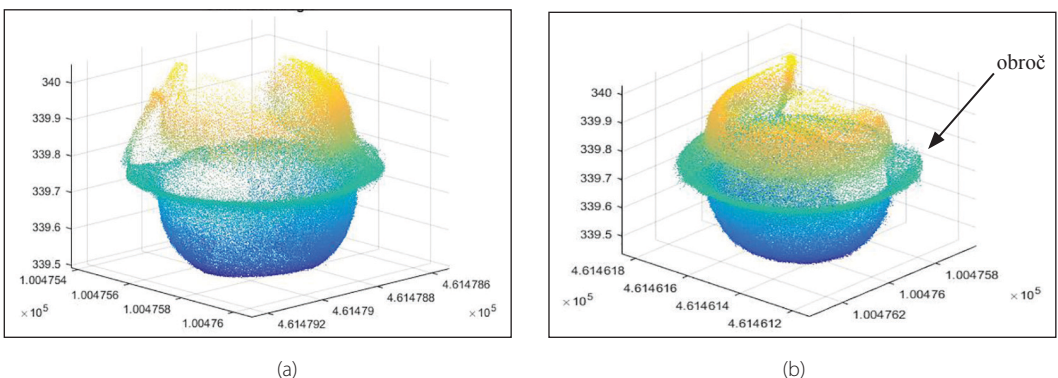


ocenjujemo le na podlagi zadostnega števila veznih točk. V izravnavo parametrov krogle smo šli s predpostavko, da so vse točke določene z enako natančnostjo, kar pomeni, da je matrika uteži enotska. Ocena natančnosti izračunanih parametrov krogle je ob tolikšni nadštevilstvi tako rekoč neuporabna. Natančnosti parametrov krogle so močno precenjene, saj izračunane vrednosti natančnosti v povprečju znašajo red velikosti desetinke milimetra (preglednici 3 in 4), kar ni realno, zaradi česar podatka v rezultatih v poglavju 3.2 ne prikazujemo. Natančnost položaja cerkvenih zvonikov v državnem koordinatnem sistemu je odvisna od natančnosti meritev in obdelave skenogramov: v našem primeru od georeferenciranja skenogramov in predhodne določitve koordinat oslonilnih točk. Te so navedene v preglednici 2 in so velikosti nekaj milimetrov. Sklepamo, da smo parametre krogle in s tem horizontalni položaj cerkvenih zvonikov (preglednica 6) določili z natančnostjo približno 5 milimetrov. Višina je pri tem že v osnovi zaradi predpostavke o geometriji jabolka (viziranje pod obroč jabolka = višina centra krogle z odštetim radijem, slika 5) določena s slabšo natančnostjo.

### 3.2 RANSAC

Algoritem soglasja naključnih vzorcev oziroma RANSAC (angl. *RAN*dOm *SAM*ple *CON*sensus; Fischler in Bolles, 1981) je robustna metoda za segmentacijo ali filtriranje oblaka točk. V postopku izračuna parametrov ne uporablja celotnega podatkovnega niza vhodnih podatkov, temveč izbere naključni vzorec. Velikost vzorca je enaka številu točk, ki je minimalno potrebno za enolično določitev parametrov izbranega matematičnega modela. Algoritem iz izbranih točk določi parametre matematičnega modela, za vse ostale točke pa na podlagi podanega odstopanja preveri, ali pripadajo izračunanemu modelu. Matematični model krogle je enolično določen s štirimi parametri. Z algoritmom iščemo tak vzorec štirih točk, da bo število točk, ki znotraj določenega odstopanja pripadajo krogli, kar največje. Take točke imenujemo inlierji. Vse druge, ki ne pripadajo modelu, pa outlierji.

Ob izravnavi parametrov krogle v poglavju 3.1 smo kot vhodni podatek uporabili oblake točk, ki smo jih predhodno obrezali na območje spodnje polovice jabolka zvonika. Ker smo skenirali od spodaj, je bila orientacija površine spodnjega dela jabolka za elektrooptično merjenje dolžine ugodnejša. Posledica tega je večja gostota in manjša razpršenost točk na spodnjem delu jabolka. Ob prikazu oblakov točk (slika 6) ugotovimo, da jabolko zvonika v celoti dejansko ni kroglja. Izkaze se, da gre najverjetneje za dve polkroglji, ki sta med seboj razmaknjeni za širino obroča.



Slika 6: Prikaz združenih oblakov točk za celotno jabolko, vzhodni zvonik (a), zahodni zvonik (b).

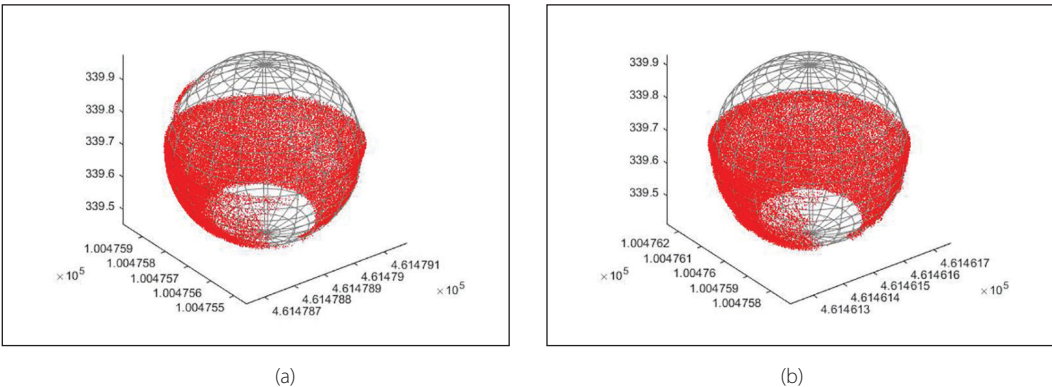
Ker nas zanima le položaj trigonometrične točke pod jabolkom zvonika (slika 5), za nas ni pomembno, kakšne oblike je jabolko. RANSAC načeloma deluje dobro tudi ob večjem deležu outlierjev (v našem primeru 40 %). Kljub temu ob preveč optimistično nastavljenem odstopanju dobimo v več poskusih zelo različne rezultate (Urbančič in sod., 2016; Urbančič in sod., 2014). Na podlagi poskušanja, ob spreminjanju praga odstopanja, smo ugotovili, da je optimalen prag odstopanja en centimeter. Če smo prag preveč zmanjšali, smo dobili majhen odstotek inlierjev in zelo različne rezultate v več poskusih. Če smo ga povečali, pa smo v skupino inlierjev zajeli tudi točke, za katere je iz grafičnih prikazov razvidno, da odstopajo od krogle, na primer točke na obroču (slika 6). V preglednici 5 so rezultati izravnave parametrov krogle, ko za vhodni podatek uporabimo celoten združen oblak točk jabolka (spodnja in zgornja polovica ter obroč), z uporabo RANSAC-a in brez nje.

Preglednica 5: Parametri krogle z uporabo RANSAC-a in brez nje, v D96/TM in SVS2010/Koper.

| ZVONIK    | Vzhodni 240-C1 |             |          | Zahodni 240-C2 |             |          |
|-----------|----------------|-------------|----------|----------------|-------------|----------|
|           | RANSAC         |             |          | RANSAC         |             |          |
| Parameter | ne             | da          | $\Delta$ | ne             | da          | $\Delta$ |
| $e_0$ [m] | 461.478,915    | 461.478,910 | 0,005    | 461.461,497    | 461.461,493 | 0,004    |
| $n_0$ [m] | 100.475,712    | 100.475,715 | 0,003    | 100.475,974    | 100.475,979 | 0,005    |
| $H_0$ [m] | 339,771        | 339,716     | 0,055    | 339,734        | 339,672     | 0,062    |
| $R$ [m]   | 0,292          | 0,261       | 0,031    | 0,294          | 0,259       | 0,035    |

$\Delta$  ... razlika med parametri krogle po izravnavi pred uporabo RANSAC-a in po njej (absolutne vrednosti)

Na podlagi prikaza inlierjev na izravnani krogli (slika 7) ugotovimo, da so v skupini inlierjev predvsem točke spodnje polovice krogle. Zaradi večje gostote točk na spodnji strani in obroča, ki loči spodnjo in zgornjo polkroglo, dobimo pričakovano po RANSAC-u samo točke na spodnji polovici (slika 7). Zgodi se tudi, da veliko točk na spodnji polovici pade v skupino outlierjev, zato je gostota na spodnjem delu manjša kot na sliki 6, posledično so tudi rezultati nekoliko drugačni kot v preglednici 4 (če primerjamo rezultate z RANSAC-om v preglednici 5 in rezultate »Skupaj« v preglednici 4).



Slika 7: Prikaz inlierjev na izravnani krogli, vzhodni zvonik (a), zahodni zvonik (b).

Preglednica 6: Položaj zvonikov Trnovske cerkve, v D96/TM in SVS2010/Koper.

| Točka                   | $e$ [m]     | $n$ [m]     | $H$ [m] |
|-------------------------|-------------|-------------|---------|
| <b>240-C1 (vzhodni)</b> | 461.478,910 | 100.475,715 | 339,455 |
| <b>240-C2 (zahodni)</b> | 461.461,493 | 100.475,979 | 339,413 |

#### 4 PRIMERJAVA POLOŽAJEV

Položaje obeh zvonikov Trnovske cerkve, izračunanih z izravnavo parametrov krogle na osnovi TLS, smo primerjali s položaji, določenimi s klasično terestrično geodetsko izmero (Marjetič in Pavlovčič Prešeren, 2018; preglednici 7 in 8). Horizontalni koordinati smo primerjali tudi s transformiranimi koordinatami iz starega koordinatnega sistema D48/GK v novi D96/TM na podlagi 7-parametrične transformacije s spletno aplikacijo SiTraNet (Kozmus Trajkovski in Stopar, 2008–2017).

Ob primerjavi položajev med TLS in klasično terestrično izmero ugotovimo centimetrske razlike predvsem pri koordinati  $e$  (preglednica 7). Razlika je lahko posledica več dejavnikov. Eden izmed njih je različna natančnost izmere TLS v primerjavi s klasično terestrično izmero. Natančnost precizne klasične terestrične izmere je višja kot pri izmeri TLS. Razlike so lahko tudi posledica dejstva, da smo ponovno izmero GNSS opravili na istih točkah A, B in C kot pri klasični izmeri, vendar dobili do enega centimetra različne položaje. Razlog je v različni epohi izmere, dolžini trajanja statičnih meritev, definiciji geodetskega datuma in načinu obdelave meritev GNSS.

Preglednica 7: Primerjava izračunanih horizontalnih koordinat med TLS in klasično terestrično izmero.

| Zvonik        | TLS         |             | Klasična izmera |             | TLS - Klasika  |                |
|---------------|-------------|-------------|-----------------|-------------|----------------|----------------|
|               | $e$ [m]     | $n$ [m]     | $e$ [m]         | $n$ [m]     | $\Delta_e$ [m] | $\Delta_n$ [m] |
| <b>240-C1</b> | 461.478,910 | 100.475,715 | 461.478,885     | 100.475,718 | 0,025          | -0,003         |
| <b>240-C2</b> | 461.461,493 | 100.475,979 | 461.461,480     | 100.475,982 | 0,013          | -0,003         |

Preglednica 8: Primerjava izračunanih višin med TLS in klasično terestrično izmero

| Zvonik        | TLS     | Klasična izmera | TLS - Klasika  |
|---------------|---------|-----------------|----------------|
|               | $H$ [m] | $H$ [m]         | $\Delta_H$ [m] |
| <b>240-C1</b> | 339,455 | 339,459         | -0,004         |
| <b>240-C2</b> | 339,413 | 339,417         | -0,004         |

V preglednici 9 je prikazana primerjava položajev obeh cerkvenih zvonikov, izračunanih na podlagi 7-parametrične transformacije iz D48/GK v D96/TM in na podlagi modeliranja iz oblakov točk, merjenih s TLS. Primerjan je samo horizontalni položaj, saj podatkov o višinah obeh zvonikov Trnovske cerkve v starem koordinatnem sistemu na topografijah ni bilo na voljo. Rezultate transformacije smo izračunali s spletno aplikacijo SiTraNet. Uporabili smo transformacijske parametre za območje osrednje Slovenije.

Odstopanja v preglednici 9 so še nekoliko večja kot v preglednici 7 in znašajo nekaj centimetrov po posamezni koordinatni komponenti. Te razlike kažejo, da so uporabljeni transformacijski parametri relativno slabi. Primerjava kaže na smiselnost določanja koordinat cerkvenih zvonikov v novem koordinatnem sistemu, ker lahko tako ovrednotimo kakovost transformacijskih parametrov, ki so lahko ponujeni v aplikacijah za transformacijo. Uporabniki jih namreč prepogosto nekritično uporabljajo pri prehodu iz starega D48/GK v novi D96/TM koordinatni sistem.



Preglednica 9: Primerjava položajev točk med TLS in rezultati 7-parametrične transformacije.

| Zvonik | TLS         |             | 7-parametrična transformacija |             | TLS – 7-par. transf. |                |
|--------|-------------|-------------|-------------------------------|-------------|----------------------|----------------|
|        | $e$ [m]     | $n$ [m]     | $e$ [m]                       | $n$ [m]     | $\Delta_e$ [m]       | $\Delta_n$ [m] |
| 240-C1 | 461.478,910 | 100.475,715 | 461.478,924                   | 100.475,673 | -0,014               | 0,042          |
| 240-C2 | 461.461,493 | 100.475,979 | 461.461,454                   | 100.475,954 | 0,039                | 0,025          |

Kakovost koordinat v različnih koordinatnih sistemih najlažje preverimo z izračunom količin, ki so od koordinatnega sistema neodvisne – relativna primerjava. Tako smo iz koordinat v starem koordinatnem sistemu, ki smo jih dobili iz topografij, in našega rezultata po izravnavi parametrov krogle izračunali dolžino med obema trigonometričnima točkama. Glede na rezultat v preglednici 10 lahko ob predpostavki zanesljivosti naših rezultatov sklepamo, da so bile koordinate v preteklosti slabše določene. Razlika pa je lahko tudi posledica deformacij zvonikov v obdobju od določitve koordinat v preteklosti (obnova zvonika, potres itd.).

Preglednica 10: Relativna primerjava položajev v D48/GK in D96/TM.

| Zvonik | D48/GK      |            |              | D96/TM      |             |              |                |
|--------|-------------|------------|--------------|-------------|-------------|--------------|----------------|
|        | $y$ [m]     | $x$ [m]    | $D_{GK}$ [m] | $e$ [m]     | $n$ [m]     | $D_{TM}$ [m] | $\Delta_D$ [m] |
| 240-C1 | 461.849,930 | 99.989,220 | 17,472       | 461.478,910 | 100.475,715 | 17,419       | 0,053          |
| 240-C2 | 461.832,460 | 99.989,500 |              | 461.461,493 | 100.475,979 |              |                |

## 5 SKLEP

V prispevku smo predstavili postopek določitve prostorskega položaja trigonometrične točke cerkvenega zvonika z metodo TLS. V horizontalnem smislu je bila določitev izvedena v novem ravninskem državnem koordinatnem sistemu D96/TM in v višinskem sistemu SVS2010/Koper.

Uporaba metode TLS za določitev koordinat sama po sebi ni dovolj. Iz opisanega praktičnega primera določevanja položajev dveh zvonikov Trnovske cerkve v Ljubljani vidimo, da gre dejansko za kombinacijo več geodetskih merskih metod: geometričnega nivelmana in trigonometričnega višinomerstva, izmere GNSS, triangulacije in trilateracije ter metode TLS. Cilj je bil izmeriti oblak točk jabolka na vrhu cerkvenega zvonika (slika 5). Iz rezultatov skeniranja smo dobili oblake točk s posameznih stojišč, ki jih je bilo treba registrirati in georeferencirati. Zaradi navedenih razlogov (pomanjkanje veznih točk in pravičnih geometrijskih oblik med oblaki točk z različnih stojišč) registracije nismo opravili, ampak smo oblak točk s posameznega stojišča le georeferencirali in točke na koncu združili. Ta način se nam, glede na to, da določamo le koordinate središča krogle, zdi primeren. Zagotoviti moramo le osno simetričnost oblaka. Georeferenciran in združen oblak točk je osnova za določitev koordinat zvonika na podlagi geometričnega modeliranja. Ob predpostavki, da ima jabolko obliko krogle, smo s postopkom izravnave po metodi najmanjših kvadratov določili parametre krogle in tako določili položaj obeh cerkvenih zvonikov v navedenem državnem horizontalnem in višinskem sistemu. Pri tem smo uporabili tudi metodo filtriranja RANSAC. Z rezultati filtriranja smo dobili več informacij o obliki jabolka. Ugotovili smo, da je jabolko sestavljeno iz dveh približno polkrogelnih delov, ločenih z obročem (slika 6).

Vedno se vprašamo tudi po kakovosti določitve položaja. Kakovost položaja trigonometrične točke, določenega z uporabo TLS, temelji na kakovosti položajev oslonilnih točk, kakovosti skeniranja in obdelave skenograma. S statično izmero GNSS in višinsko navezavo geodetske mreže z geometričnim nivelmanom na državni višinski sistem smo zagotovili koordinatno osnovo za določitev oslonilnih točk. Te smo s klasičnimi terestričnimi meritvami povezali v geodetsko mrežo in z izravnavo zagotovili kako-

vostno izhodišče za georeferenciranje oblaka točk. Natančnost koordinat točk v geodetski mreži ni slabša od enega milimetra in je objektivno določljiva z rezultati izravnave. Težje je oceniti kakovost parametrov, izračunanih iz predhodno obdelanih oblakov točk, ki temelji na kakovosti postopkov obdelave oblaka točk (georeferenciranja, filtriranja). Izravnava parametrov nekega geometrijskega telesa na podlagi velikega števila vhodnih opazovanj (točk) oziroma velikega števila nadštevilnosti privede do zmanjšanja vrednosti natančnosti po izravnavi (v našem primeru desetinke milimetra). Realno oceno določitve parametrov krogle in s tem položaja trigonometrične točke cerkvenega zvonika smo ob upoštevanju natančnosti oslonilnih točk, natančnosti določitve skenirane točke, ki je odvisna predvsem od natančnosti merjene dolžine s skenerjem, ocenili na pet milimetrov. Pri tem je zaradi nepoznavanja točne geometrije jabolka višina lahko določena nekoliko slabše. Kljub temu so rezultati, to so koordinate obeh trigonometričnih točk cerkvenih zvonikov v Trnovem, primerljivi z rezultati klasične izmere. Koordinate so določene z zadovoljivo natančnostjo, zlasti če vemo, za kakšne potrebe jih lahko uporabimo. S tem se izkaže uporabnost metode TLS za tovrstne naloge. Sicer je predstavljen način precej zahtevnejši in tudi časovno potratnejši od določitve koordinat s klasično terestrično izmero, ker vključuje več terenskega dela z veliko merskega instrumentarija in tudi kompleksnejšo obdelavo merskih podatkov.

V obravnavanem primeru je zanimiva tudi relativna primerjava medsebojnih odnosov obeh trigonometričnih točk Trnovske cerkve v starem in novem državnem koordinatnem sistemu na podlagi izračunane dolžine med njima v obeh sistemih. Razkrila je namreč slabšo kakovost terestričnih meritev v preteklosti, lahko pa je neujemanje dolžine posledica deformacije zvonika v daljšem časovnem obdobju.

V splošnem je določevanje koordinat cerkvenih zvonikov v novem državnem koordinatnem sistemu pomembna in uporabna naloga. Trigonometrične točke cerkvenih zvonikov so zaradi svoje lege in precej velike odpornosti proti uničenju uporabna vez med starim in novim koordinatnim sistemom. S primerjavo v nov koordinatni sistem transformiranih »starih« koordinat in na novo določenih koordinat lahko ocenimo kakovost uporabljenih transformacijskih parametrov. Če imamo možnost izmere več zvonikov na nekem območju, lahko kakovostneje ocenimo lokalne transformacijske parametre, ki jih uporabimo za transformacijo prostorskih podatkov iz starega v novi koordinatni sistem. Poznane koordinate trigonometričnih točk cerkvenih zvonikov v novem koordinatnem sistemu so hkrati uporabne kot orientacijske točke pri izmeri detajla predvsem na območjih, kjer je zaradi ovir (urbana območja) ali dostopnosti signala mobilnega omrežja pri uporabi podatkov stalnih postaj GNSS (omrežje SIGNAL) težko izvajati izmero GNSS.

## Literatura in viri:

- Baarda, W. 1981. S-transformations and Criterion matrices. Delft, Netherlands Geodetic Commission, Publications on Geodesy, 5 (1), 168 str.
- Barazzetti, L., Previtali, M., Roncoroni, F. (2019). The Use of Terrestrial Laser Scanning Techniques to Evaluate Industrial Masonry Chimney Verticality. The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences, XLII-2/W11, 173–178. DOI: <https://doi.org/10.5194/isprs-archives-xlii-2-w11-173-2019>
- Besl, P. J., McKay, N. D. (1992). A method for registration of 3-D shapes. IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence, 14 (2), 239–256. DOI: <https://doi.org/10.1109/34.121791>
- Fischler, M. A., Bolles, R. C. (1981). Random sample consensus: a paradigm for model fitting with applications to image analysis and automated cartography. Communications of the ACM, 24 (6), 381–395. DOI: <https://doi.org/10.1145/358669.358692>
- He, Y., Liang, B., Yang, J., Li, S., He, J. (2017). An Iterative Closest Points Algorithm for Registration of 3D Laser Scanner Point Clouds with Geometric Features. Sensors, 17 (8), 1862. DOI: <https://doi.org/10.3390/s17081862>
- GURS (2019). E-prostor. <https://www.e-prostor.gov.si/>, pridobljeno 23. 3. 2020.
- IGS (2020). Precizne efemeride GNSS satelitov. International GNSS service. <https://kb.igs.org/hc/en-us/articles/115003935351-Access-to-Products>, pridobljeno 27. 2. 2020.
- Kraus, K. (2000). Photogrammetry. De Gruyter, 2. izdaja, 459 str.

- Kregar, K., Ambrožič, T., Kogoj, D., Vežočnik, R., Marjetič, A. (2017). Determining the inclination of tall chimneys using the TPS and TLS approach. *Measurement*, 75, 354–363. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.measurement.2015.08.006>
- Kregar, K., Možina, J., Ambrožič, T., Kogoj, D., Marjetič, A., Štebe, G., Savšek, S. (2017). Control Measurements of Crane Rails Performed by Terrestrial Laser Scanning. *Sensors*, 17 (7), 1671. DOI: <https://doi.org/10.3390/s17071671>
- Kogoj, D. 2005. Merjenje dolžin z elektronskimi razdaljmeri. Ljubljana, Univerza v Ljubljani, Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo.
- Kozmus Trajkovski, K., Stopar, B. (2008–2017). Navodila za uporabo spletne aplikacije za transformacije koordinatnih sistemov SiTraNet v4. Ljubljana, Univerza v Ljubljani, Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo. <http://sitranet.si/SiTraNet4-navodila.htm>, pridobljeno 25. 4. 2020.
- Leica Geosystems (2017). Leica GS18 User Manual. Heerbrugg, Leica Geosystems AG: 48–52. [http://www.surveyeq.com/uploads/p\\_8C2A3551-F841-8399-25A8-7418916DECB1-1517301119.pdf](http://www.surveyeq.com/uploads/p_8C2A3551-F841-8399-25A8-7418916DECB1-1517301119.pdf), pridobljeno 20. 3. 2020.
- Leica Geosystems (2006). Leica DNA03/DNA10 User Manual. Heerbrugg, Leica Geosystems AG: 147–149. <http://surveyequipment.com/assets/index/download/id/59/>, pridobljeno 20. 3. 2020.
- Leica Geosystems (2013). Leica TS30/TM30 User Manual. Heerbrugg, Leica Geosystems AG: 60–75. <http://surveyequipment.com/assets/index/download/id/220/>, pridobljeno 22. 3. 2020.
- Marjetič, A., Pavlovčič Prešeren, P. (2018). Določitev položajev cerkvenih zvonikov v koordinatnem sistemu D96/TM. *Geodetski vestnik*, 62 (4), 587–603. DOI: <https://doi.org/10.15292/geodetski-vestnik.2018.04.587-603>
- Marjetič, A., Stopar, B. (2007). Geodetski datum in S-transformacija. *Geodetski vestnik*, 51 (3), 549–564.
- NGS (2020). Kalibracijski podatki GNSS anten. National Geodetic Survey. <https://www.ngs.noaa.gov/ANTCAL/>, pridobljeno 27. 2. 2020.
- Petrovič, D., Grigillo, D., Kosmatin Fras, M., Urbančič, T., Kozmus Trajkovski, K. (2019). Geodetic Methods for Documenting and Modelling Cultural Heritage Objects. *International Journal of Architectural Heritage*. DOI: <https://doi.org/10.1080/1583058.2019.1683779>
- RIEGL Laser Measurement Systems (2019). Riegl VZ-400i Technical data. Horn, RIEGL Laser Measurement Systems GmbH, 9–10. <http://www.riegl.com/nc/products/terrestrial-scanning/produktdetail/product/scanner/48/>, pridobljeno 10. 4. 2020.
- Oleniarczyk, G., Skrzypczak, I., Slecza, L., Swieton, T., Rymar, M. (2017). Survey of the urban bell in the belfry of St. Trinity church in Krosno. *Reports on Geodesy and Geoinformatics*, 103, 38–45. DOI: <https://doi.org/10.1515/rgg-2017-0004>
- RIEGL Laser Measurement Systems (2004). RiSCAN PRO User manual. Horn, RIEGL Laser Measurement Systems GmbH, 150 str. <http://www.riegl.com/nc/products/>, pridobljeno 10. 4. 2020.
- Teunissen, P. J. G. (2003). Adjustment Theory. Delft, Netherlands, VSSD, 193 str.
- Urbančič, T., Koler, B., Stopar, B., Kosmatin Fras, M. (2014). Analiza kakovosti določitve parametrov krogle pri terestričnem laserskem skeniranju. *Geodetski vestnik*, 58 (1), 11–27. DOI: <https://doi.org/10.15292/geodetski-vestnik.sl.2014.01.011-027>
- Urbančič, T., Koler, B., Stopar, B., Kosmatin Fras, M. (2014). The Influence of the Input Parameters Selection on the RANSAC Results. *International Journal of Simulation Modelling*, 13 (2), 159–170. DOI: [https://doi.org/10.2507/IJSIMM13\(2\)3.258](https://doi.org/10.2507/IJSIMM13(2)3.258)
- Urbančič, T., Vrečko, A., Kregar, K. (2016). Zanesljivost metode RANSAC pri oceni parametrov geometrijskih oblik. *Geodetski vestnik*, 60 (1), 69–97. DOI: <https://doi.org/10.15292/geodetski-vestnik.2016.01.69-97>
- SIGNAL (2020). SIGNAL, RINEX podatki stalnih postaj. Ljubljana, Služba za GNSS, Geodetski inštitut Slovenije. <http://www.gu-signal.si/rinex>, pridobljeno 27. 2. 2020.
- Uredba o določitvi parametrov višinskega dela vertikalne sestavine državnega prostorskega koordinatnega sistema. Uradni list RS, št. 80/2018.
- ZEN (2006). Zakon o evidentiranju nepremičnin. Uradni list RS, št. 47/2006.



Hren T., Kregar K., Marjetič A. (2020). Določitev položaja cerkvenega zvonika s terestričnim laserskim skeniranjem. *Geodetski vestnik*, 64 (3), 320–334.  
DOI: <https://doi.org/10.15292/geodetski-vestnik.2020.03.320-334>

**Tine Hren, mag. inž. geod. geoinf.**

*Ob gozdu 25a, SI-2352 Selnica ob Dravi  
e-naslov: hrentine@gmail.com*

**asist. dr. Klemen Kregar, univ. dipl. inž. geod.**

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

**doc. dr. Aleš Marjetič, univ. dipl. inž. geod.**

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

# IDENTIFIKACIJA OBMOČIJ VETROLOMA NA PODLAGI ČASOVNE VRSTE S PODATKI C-SAR

# WINDTHROW IDENTIFICATION WITH C-SAR TIME SERIES

Alen Mangafić, Martin Puhar, Blaž Barborič

UDK: 528.8  
Klasifikacija prispevka po COBISS.SI: 1.03  
Prispelo: 14. 2. 2020  
Sprejeto: 17. 8. 2020

DOI: 10.15292/geodetski-vestnik.2020.03.335-347  
SHORT SCIENTIFIC ARTICLE  
Received: 14. 2. 2020  
Accepted: 17. 8. 2020

## IZVLEČEK

V noči med 29. in 30. oktobrom 2018 je več gozdnih območij v Sloveniji in severni Italiji prizadel močan vetrolom. V članku predlagamo novo metodologijo za identifikacijo območij vetroloma. Predlagamo nova indeksa: PCA-CI za identificiranje območij večjih sprememb in PCA-WI za identificiranje območij vetroloma na podlagi časovne vrste podatkov C-SAR satelita Sentinel-1. V primerjavi z dosedanjimi študijami identificiranja vetrolomov predlagana metodologija ne odšteva kanalov dvopolnih in enopolnih kombinacij VH-VV, temveč predlaga nov pristop z multivariantno transformacijo zmanjševanja dimenzionalnosti časovnih vrst posameznih dvopolnih in enopolnih kombinacij v dveh obdobjih.

## ABSTRACT

A strong windthrow affected many forests in Slovenia and northern Italy on the night of the 29th and the 30th of October, 2018. In this paper, we propose a new methodology for windthrow identification, comprising two new indexes, PCA-CI for evaluating change detection and PCA-WI for the identification of windthrows by analysing the time series of C-SAR Sentinel-1 data. The proposed methodology, unlike the previous studies on the identification of windthrows, does not subtract the values of dual and single polarised VH-VV data combinations, but proposes a new approach with a multivariate transformation of dimensionality reduction of the time series of the dual and single polarised data in two different time frames.

## KLJUČNE BESEDE

vetrolom, časovna vrsta, SAR, C-SAR, radar, Sentinel-1, daljinsko zaznavanje

## KEY WORDS

windthrow, time series, SAR, C-SAR, radar, Sentinel-1, remote sensing

## 1 UVOD

Problematico vetroloma smo obravnavali v okviru projekta HARMO-DATA, ki je del programa Inter-reg V-A Italija-Slovenija 2014–2020. Eden izmed glavnih ciljev projekta je bil okrepitev zmogljivosti institucionalnega sodelovanja za učinkovito upravljanje prostora na čezmejnem območju. V projektu je sodelovalo šest partnerjev iz Slovenije (Geodetski inštitut Slovenije, Geodetska uprava RS in podjetje Igea d.o.o.), partnerja iz italijanske regije Furlanije - Julijske krajine (podjetje Insiel in Univerza v Trstu) in regije Benečija (podjetje Terre). Del projekta HARMO-DATA je bil namenjen obravnavi podatkov, ki so na voljo prek platforme Copernicus. Glavni poudarek raziskave so možnosti uporabe teh podatkov pri različnih aktivnostih, povezanih z ukrepanjem ob ogroženosti zaradi naravnih nesreč in ob izrednih dogodkih na čezmejnem območju, med katere spada tudi močan vetrolom, ki je prizadel več gozdnih območij v Sloveniji in severni Italiji v noči med 29. in 30. oktobrom 2018. Ta ekstremni vremenski pojav je bil del širšega vremenskega dogajanja, ki so ga vremenoslovci poimenovali nevihta Adrian in se je začelo 28. oktobra 2018 z močno nevihto nad zahodnim delom Sredozemlja in končalo 3. novembra 2018 nad Islandijo (Météo-France, 2018; BBC, 2018). Nevihta je bila klasificirana kot orkan 3. kategorije po Saffir-Simpsonovi lestvici orkanov (od petih kategorij) in je v več državah povzročila zelo veliko gospodarsko škodo, ki je bila skupno ocenjena na 3,3 milijarde evrov. V Italiji je zahtevala enajst smrtnih žrtev, takrat je na primer tudi močno poplavelo Benetke. Podrobnejšo oceno škode, ki jo je povzročil vetrolom v okviru opisanega vremenskega dogajanja, je izdelal Zavod za gozdove Slovenije (ZGS). V njej je navedeno, da je bilo poškodovanih 280.000 kubičnih metrov drevja, pri čemer je bilo večji del (90 %) iglavcev. Najobsežnejše poškodbe so nastale na slovenjegraškem območju, v zgornji Mežiški dolini (Koprivna, slika 1), na območju Bohinja in Bleda ter na Postojnskem. Močnejše poškodovanih je bilo 12.000 hektarjev površin, popolnoma ogoledih je bilo 164 hektarjev gozda, od tega 150 hektarjev na Koroškem. Škoda je bila ocenjena na 5,6 milijona evrov. ZGS je oceno izvedel za posamezne gozdne odseke na območjih, ki jih je prizadel vetrolom (ZGS, 2018a; Dnevnik, 2018; Koroške novice, 2018).



Slika 1: Zaradi vetroloma močno prizadeta Koprivna na Koroškem (levo) in Cal Visende v Benečiji (desno). Vira: Koroške novice, 2018; Italy Magazine, 2018.

## 2 TEORETIČNO IN TEHNOLOŠKO OZADJE

V nadaljevanju obravnavamo problematiko identifikacije območij vetroloma, ki smo jo izvedli z analizo časovnih vrst radarskih podatkov. Ozadje pojava, uporabljene tehnologije in pregled študijskih primerov so podrobneje opisani v podpoglavjih.

## 2.1 Vetrolomi

Naravne ujme pomenijo veliko težavo pri upravljanju z gozdovi in se mnogokrat prepletajo, na primer poplave s plazovi, usadi, obilnimi padavinami in vetrom (Preslica, 2019). V članku se osredotočamo na vetrolome, ki so v zadnjih letih vse pogostejša vrsta naravne ujme v Sloveniji. O vetrolomu govorimo, kadar močan veter poškoduje ali uniči drevesa v gozdu. Veter lahko drevesa izruva iz tal, odlomi pri panju ali pa prelomi debela. Te poškodbe so pogubne, saj drevesa običajno odmrejo takoj ali pa životarijo še nekaj let, preden dokončno odmrejo (Preslica, 2019). Vetrolomi so v slovenskih gozdovih relativno pogost pojav predvsem na območjih, kjer ni ustrezne drevesne sestave. Najpogostejše prizadenejo enomerne gozdove ene drevesne vrste. Pri tem so najbolj postavljeni umetno zasajeni smrekovi gozdovi. Vetrolomi so pogosti na grebenih, okoli vrhov, na zaobljenih hribih, gorskih sedlih in hrbtih. Glede na veter in gibanje najmočnejših sunkov je lahko drevje uničeno na obsežnih površinah ali pa v ozkih pasovih (Preslica, 2019). Z naravnimi ujmami v gozdovih Slovenije se strokovno ukvarjajo na Zavodu za gozdove Slovenije, kjer spremljajo posek gozda zaradi naravnih ujm.

Najhujši vetrolom v zadnjih dvajsetih letih se je zgodil med 11. in 13. decembrom 2017 (Breznikar, 2018). Poškodbe gozdov, ki jih je takrat povzročil veter, so presegle do tedaj znane poškodbe zaradi vetrolomov tako po količini poškodovanega drevja kot po obsegu prizadete površine. Veter je močnejše prizadel gozd na približno petini gozdnih površin v Sloveniji in poškodoval za 2,2 milijona m<sup>3</sup> drevja (Breznikar, 2018). Najbolj so bili poškodovani gozdovi na Kočevskem, Notranjskem in Koroškem, močno poškodovana so bila tudi območja gozdov na Jezerskem, Solčavskem in v Dravski dolini. Poškodbe so bile prisotne tudi v drugih predelih Slovenije, še najmanj so bili poškodovani gozdovi na vzhodu države. Zaradi vetrolomov sicer izstopajo leta od 2003 do 2008. Nastajali so večinoma razpršeno po vsej Sloveniji, najhujše so bile poškodbe v letih 2006 in 2008. V letu 2006 je močan veter konec junija podrl 85.000 m<sup>3</sup> lesne mase na Jelovici (160 hektarjev poškodovane površine). V neurjih poleti 2008 je bilo poškodovanih 20.000 hektarjev gozdov s 500.000 m<sup>3</sup> lesne mase. Popolnoma uničenih je bilo približno 700 hektarjev gozda. Največje poškodbe so bile na območju prelaza Črničec med Kamnikom in Gornjim Gradom. Sečnja zaradi plazov in usadov je pri tem v primerjavi s sečnjo zaradi drugih naravnih ujm zanemarljiva (Jakša, 2009). Močan vetrolom je prizadel več gozdnih območij v Sloveniji in severni Italiji v noči med 28. oktobrom in 30. novembrom 2018.

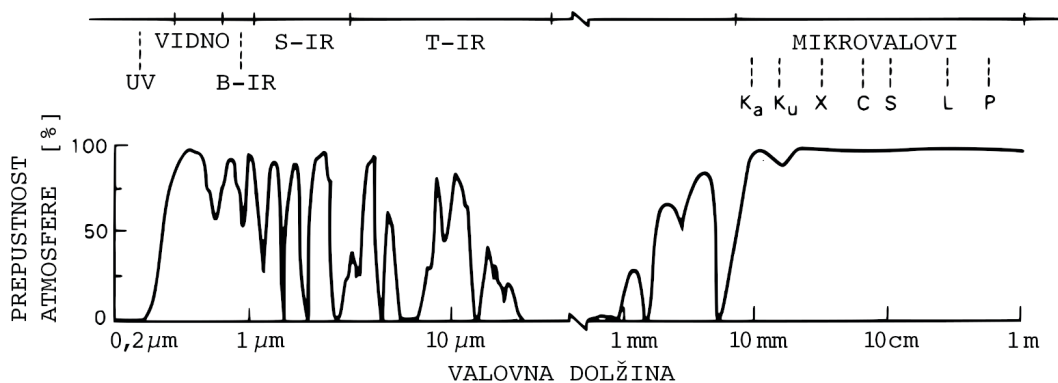
## 2.2 Tehnologija SAR pri spremljanju površja

Senzorji, ki sestavljajo sisteme daljinskega zaznavanja, so lahko aktivni ali pasivni. Slednji za zajem podob potrebujejo zunanji vir elektromagnetnega valovanja, ki osvetli predmet opazovanja. Vir elektromagnetnega valovanja za multispektralne senzorje je Sonce, kar pomeni, da z njimi lahko snemamo le podnevi, podobe pa se radiometrično med seboj razlikujejo tudi zaradi tega, ker so bile posnete ob različnih delih dneva in različnih razmerah v atmosferi. Dodatna velika omejitev pasivnih senzorjev je, da del spektra elektromagnetnega valovanja, v katerem delujejo, tj. valovne dolžine od vidne svetlobe do dolgovalovne infrardeče svetlobe, ne prodira skozi oblake in ni na območju atmosferskih oken s popolno prepustnostjo (slika 2). To pomeni, da obdobja oblačnosti še dodatno zmanjšujejo čas, v



katerem je mogoče uporabljati sisteme daljinskega zaznavanja s pasivnimi senzorji. Primeri aktivnih senzorjev so radarji, ki predmet opazovanja osvetlijo z elektromagnetnim valovanjem iz mikrovalovnega dela spektra. Mikrovalovi v primerjavi z vidno in infrardečo svetlobo prodirajo skozi oblake, meglice, prah in dež.

Radar z umetno odprtino (v nadaljevanju: SAR) je aktivni instrument bočnega pogleda, ki oddaja kratke mikrovalovne impulze z valovno dolžino od enega centimetra do enega metra in sprejema njihov odboj. Oddani impulzi so polarizirani vodoravno (H) in/ali navpično (V), sprejem odbitih impulzov je prav tako ločen na vertikalno in/ali horizontalno polarizacijo. Pri obdelavi posnetkov SAR uporabljamo različne mere odbojnosti, kot so  $\beta$ ,  $\gamma$  in  $\sigma$ . Med seboj se razlikujejo po ploskvi, ki se uporabi za normalizacijo vrednosti odbojev (Henderson et al., 1998; Oštir et al., 2006; Spoto et al., 2012). Radarji delujejo pri različnih valovnih dolžinah, pri katerih se je *de facto* uveljavila neuradna radarska referenčna nomenklatura, sestavljena iz pasov  $K_a$ ,  $K_u$ , X, C, S, L in P (Henderson et al., 1998). Prepustnost atmosfere za različne valovne dolžine, od ultravijoličnega valovanja do mikrovalov, je prikazana na sliki 2. Podoba, pridobljena s SAR, je pravokotna rastrska podoba, katere vrednosti celic so kompleksna števila, iz katerih dobimo informacijo o amplitudi in fazi odbitega valovanja. Faza odbitega valovanja je odvisna od valovne dolžine radarskega sistema ter razdalje med oddajnikom radarskega valovanja in odbojnikom na Zemlji (Rojko, 2016). Amplituda odbitega valovanja je odvisna od geometričnih (na primer vpadnega kota, hrapavosti) in dielektričnih lastnosti odbojnega površja (Henderson et al., 1998).

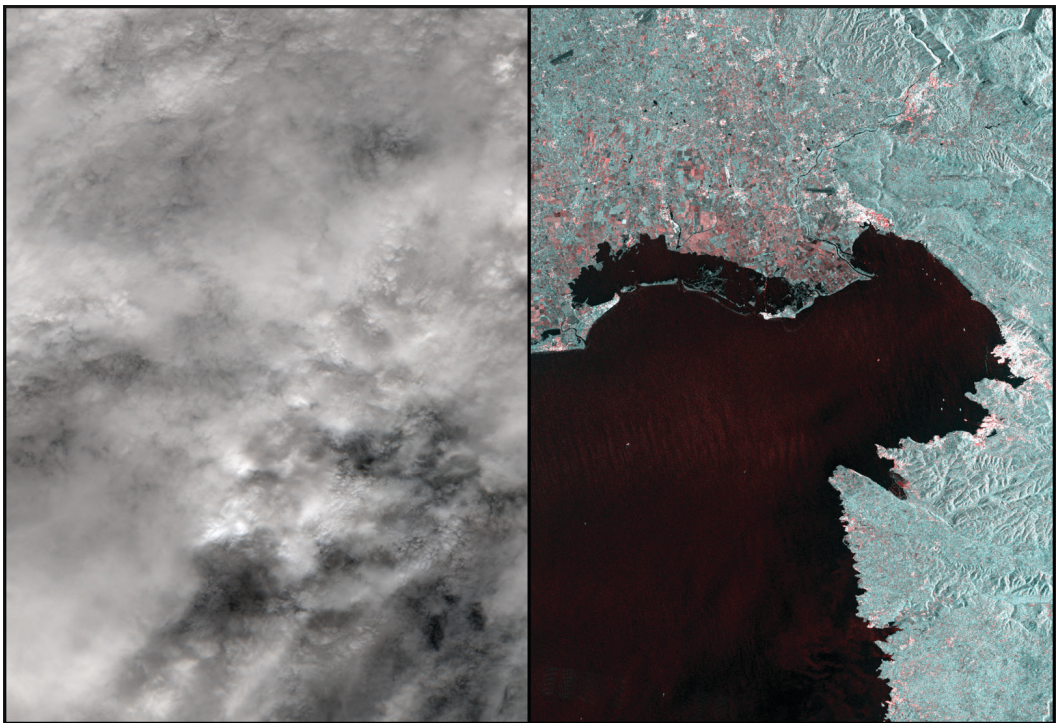


Slika 2: Prepustnost atmosfere za različne valovne dolžine (NASA, 1989).

SAR omogoča zajem podatkov tako podnevi kot ponoči in v vseh atmosferskih razmerah. Spremljanje prostora s satelitskimi posnetki je najučinkovitejše, ko imamo na voljo časovne vrste podatkov. Časovne vrste multispektralnih podatkov omogočajo najrazličnejše analize, njihova slabost je, da imajo številne vrzeli, ki so posledica oblačnega vremena, to pa je v visokogorju še posebej pogosto. Stalno spremljanje visokogorskih gozdov v alpskih državah je tako mogoče le z analizo radarskih časovnih vrst v kombinaciji z drugimi podatki (na primer multispektralnimi, hiperspektralnimi, lidarskimi in terenskimi). Prednost tehnologije SAR v primerjavi z multispektralnim snemanjem lahko vidimo na sliki 3, kjer sta prikazana izdelka obeh tehnologij, zajeta med nevihto 28. oktobra 2018.



Različne valovne dolžine imajo različno interakcijo s površjem. Ena izmed pomembnih razlik je razlika v globini prodiranja skozi vegetacijo. Zaradi tega je optimalna izbira instrumenta odvisna od raziskovalne študije. Valovi X-SAR (na primer TerraSAR-X) se odbijajo od vrha krošenj, medtem ko L-SAR (na primer ALOS – PALSAR) skozi prodirajo (Cartus et al., 2012; Eineder et al., 2019). Kombinacija senzorjev X-SAR in L-SAR omogoča oceno prostornine biomase. Pomemben dejavnik pri izbiri instrumenta je tudi časovna ločljivost, saj goste časovne vrste omogočajo boljše spremljanje sprememb v prostoru. Poleg tehničnih specifikacij je pomemben tudi finančni dejavnik, ki je velikokrat ključen pri izbiri vira podatkov. Za namene raziskave takšnih sprememb površja, kot je identifikacija vetroloma, bi bila optimalna, a glede na ponudnika storitev izredno draga, izbira senzorja X-SAR. Alternativa so prosto dostopni podatki, kot so podatki programa Evropske vesolske agencije (ESA) za opazovanje Zemlje Copernicus. ESA ponuja brezplačne izdelke visoke časovne ločljivosti C-SAR konstelacije Sentinel-1. Specifikacije in podrobnosti konstelacije Sentinel-1 in njegovih izdelkov podrobneje opisujemo v podpoglavju 2.3.



Slika 3: Satelitski posnetki Sentinel-2 (levo) in Sentinel-1 (desno) površja severnega dela Jadrana med nevihto Adrian 28. oktobra 2018.

## 2.3 Sentinel-1

Sentinel-1 je Copernicusova konstelacija, sestavljena iz dveh satelitov (1A in 1B, za prihodnost sta napovedana še 1C in 1D), ki sta opremljena z instrumentom tipa C-SAR in okrog Zemlje krožita na višini 693 kilometrov. Časovna ločljivost posameznega satelita je 12 dni, skupni obhodni čas pa znaša 6 dni. Frekvenca instrumentov je 5,405 GHz in zajemajo podatke v štirih načinih zajema. Copernicusove storitve ponujajo dostop do treh ravni obdelanosti: surovi podatki, SLC in GRD. Podatki SLC (angl. *single look*

*complex*) vsebujejo poševne razdalje ter podatke o fazi in amplitudi. Podatki GRD (angl. *ground range detected*) so zajeti, večkratno pogledani (angl. *multi-looked*) in projicirani na referenčni elipsoid WGS 84. Ločljivost prevzorčenih celic je 10 x 10 metrov, celice pa vsebujejo informacijo o amplitudi odbitega valovanja. Polarizaciji, uporabljeni pri oddaji in sprejemu signala, sta navpična (V) in vodoravna (H), torej imamo možnost kombiniranja V in H pri oddanem in sprejetem valovanju (enopolne in dvopolne kombinacije: VV, HH, VH, HV) (Torres et al., 2012; Rojko, 2016; Rossi, 2015; ESA, 2020). Kombinacije produktov in njihove transformacije se razlikujejo glede na tip raziskave. V naslednjem podpoglavju predstavljamo nekatere študijske primere uporabe radarskih časovnih vrst za namene spremljanja gozdov.

## 2.4 Časovne vrste radarskih posnetkov

Obstajajo različni pristopi k analiziranju časovne spremembe pikslov. Odvisni so od dolžine niza časovne vrste in intervala med pridobljenimi podatki. Glede na študijske primere lahko ločimo analizo dosedanjih dogodkov (na primer iskanje maksimalne magnitude posameznega dogodka) ali napovedovalne analize prihodnjih trendov (na primer iskanje anomalij pri cikličnih dogodkih). Analize sprememb pikslov izvajamo s primerjanjem statističnih kazalcev vrednosti pikslov (na primer MVA – minimalne, maksimalne in srednje odbojne letne vrednosti; Quegan et al., 2000), njihove okolice ali objektov (na primer OBIA TWDTW; Belgiu in Csillik, 2018). Spremembe lahko zaznavamo s statističnim modeliranjem (na primer uporabo regresijskega modela) ali kompleksnejšimi metodami strojnega učenja (na primer globokim učenjem GRU; Niculescu et al., 2018).

Obstaja več študijskih primerov, ki so pokazali učinkovitost radarskih časovnih vrst za spremljanje gozdov. Quegan et al. (2000) so prikazali uporabnost polarizacije VH in njene binarne klasifikacije glede na razlike med dvopolnimi in enopolnimi kombinacijami. V študiji so ugotovili, da je na območju gozdov vrednost dvopolne kombinacije VH vedno nižja od 2 dB. Razlike v VH in VV so uporabljene v različnih študijah z namenom ovrednotenja biomase in njihovo vrednost lahko definiramo z različnimi transformacijami in algoritmi (na primer algoritmom BIOMASAR; Santoro et al., 2010). Primer študije, namenjene identifikaciji vetroloma, so izvedli Eriksson et al. (2012), kjer so pokazali, da je z visoko ločljivimi posnetki SAR mogoče identificirati vetrolome. Rüetschi et al. (2019) so v nadaljevanju raziskali uporabnost Sentinel-1 pri identifikaciji vetroloma. Njihova časovna vrsta je bila sestavljena iz razlik dvopolnih in enopolnih vrednosti mere odbojnosti  $\gamma$  zaporednih podatkov IW GRDH. Predlagali so indeks vetrolomov (WI):

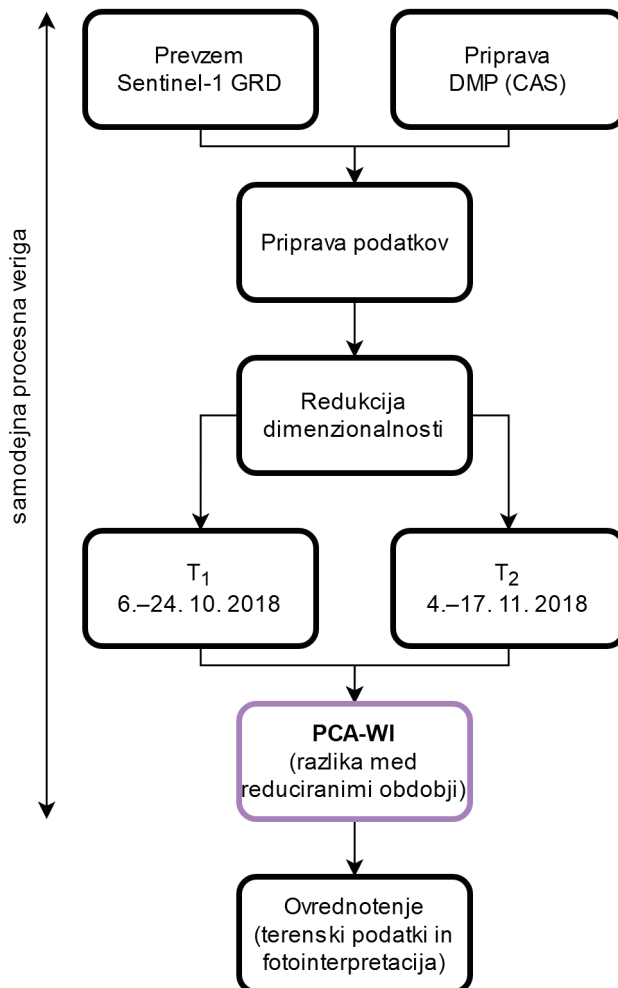
$$WI = (\gamma_{LRW, VV, T_2}^0 - \gamma_{LRW, VV, T_1}^0) + (\gamma_{LRW, VV, T_1}^0 - \gamma_{LRW, VV, T_1}^0),$$

kjer je  $\gamma_{LRW}^0$  časovni kompozit vseh  $\gamma^0$  odbojnosti časovne vrste,  $T_1$  in  $T_2$  pa predstavljata podatke pred vetrolomom in po njem. Pri terenskih podatkih so uporabljali digitalne modele površja ločljivosti 2 metra in 25 metrov, ki so jih z bilinearno interpolacijo prevzorčili na ločljivost 10 metrov. Njihova študija se je izkazala kot učinkovita za kartiranje vetrolomov, večjih od 0,5 hektarjev (85-odstotna natančnost). Povprečna vrednost WI na območjih vetroloma je bila enaka ali večja od 0,5 dB (Rüetschi et al., 2019). Težava glede uporabnosti njihove raziskave je, da je metoda zasnovana za časovno serijo, ki zahteva 5 posnetkov pred dogodkom in 10 posnetkov po njem. Pri Sentinel-1 to pomeni, da lahko z analizo WI posredujemo rezultate pristojni službi približno dva meseca po dogodku, kar je preveč časa za ustrezen odziv. V tem obdobju bi najverjetneje imeli na voljo že ustrezno pokritost z brezoblačnimi optičnimi

posnetki Sentinel-2, na podlagi katerih lahko tudi identificiramo vetrolome, tako z izračunom kot fotointerpretacijo (na primer AlpMon, 2018). V članku predlagamo pristop detekcije vetrolomov, s katerim nadgrajujemo metodologijo, ki jo predlagajo Rüetschi et al. (2019). Namen naše nadgradnje je pridobiti čim več informacij iz podatkov, ki so sestavljeni iz krajše časovne vrste, in torej skrajšati čas do pridobitve rezultatov, uporabnih za odločanje in izvajanje ukrepov. V našem primeru ponujamo indeks, ki je lahko uporaben za oceno poškodovanih območij in s katerim je mogoče zmanjšati obseg terenskih kontrol ter posledično skrajšati čas, v katerem pristojne službe izdelajo sanacijske načrte. Metodologijo in postopek izračuna opišemo v poglavju 3.

### 3 METODE

Identifikacijo območij vetroloma smo izvedli z analizo časovnih vrst radarskih podatkov. Diagram raziskovalnega načrta je prikazan na sliki 4.



Slika 4: Diagram raziskovalnega načrta.

Pri predlagani metodologiji identifikacije območij vetroloma se uporabljajo do sedaj preverjeni vhodni podatki, in sicer razlike med VH in VV (Quegan et al., 2000; Eriksson et al., 2012; Rüetschi et al., 2019). Pri tem smo nadgradili pristop primerjave časovnih obdobj, pri katerem kanalov dvopolnih in enopolnih kombinacij ne odštevamo, temveč z multivariantno transformacijo zmanjšujemo dimenzionalnost časovnih kombinacij VH-VV v dveh obdobjih.

### 3.1 Predlagana indeksa

Domnevamo, da so vrednosti pikslov VH in VV na območjih, na katerih se je topografija spremenila, bolj razpršene in torej manj korelirane. To pomeni tudi, da imajo območja večjih sprememb večje vrednosti po redukcijah dimenzionalnosti, kot je analiza glavnih komponent (angl. *principal component analysis*, PCA). PCA zmanjša korelacijo med posameznimi kovariatami tako, da transformira potencialno korelirano množico podatkov v množico linearno nekoreliranih spremenljivk oziroma v glavne komponente. S transformacijo se odstranijo nadštevilni podatki ter zmanjša korelacija med posameznimi VH- in VV-kanali. Tako zagotovimo enodimenzionalni kompozit normaliziranih časovnih vrst dveh obdobj, ki pojasnjuje večji del razpršenosti vhodnih podatkov oziroma ima največjo informacijsko gostoto (Hottelling, 1933; Oštir, 2006; Mesner, 2016).

Predlagamo nova indeksa – PCA-CI (angl. *PCA change index*) in PCA-WI (angl. *PCA windthrow index*):

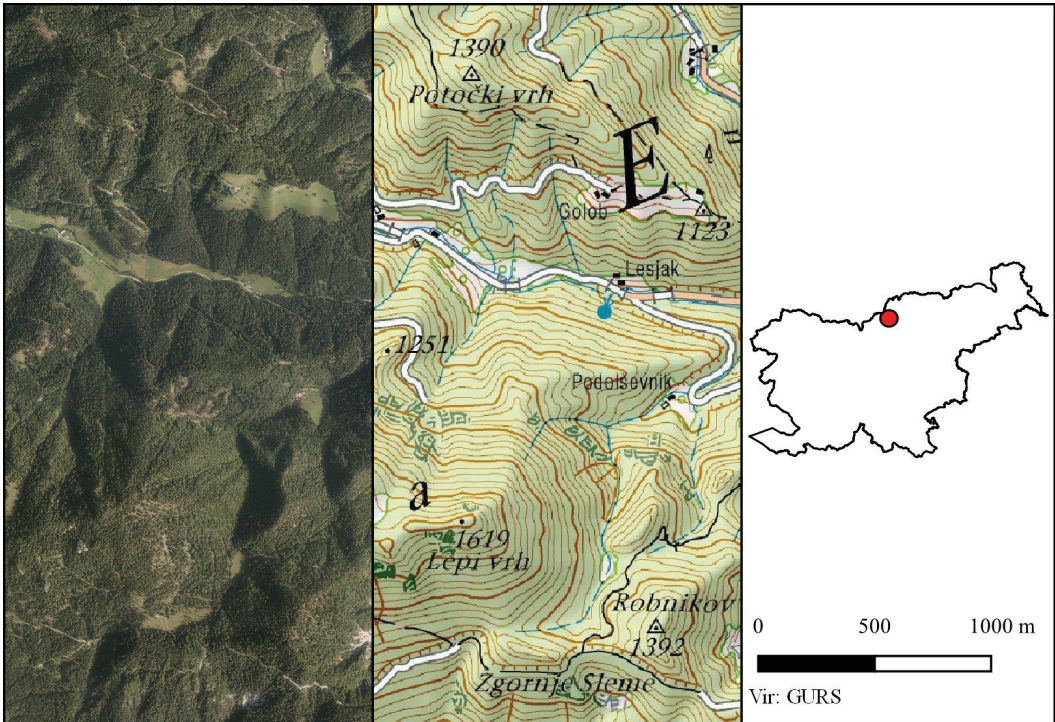
$$PCA-CI = PCA(PCA(\gamma_{VH,T_1}^0), PCA(\gamma_{VV,T_1}^0)) - PCA(PCA(\gamma_{VH,T_2}^0), PCA(\gamma_{VV,T_2}^0))Z, \quad (1)$$

$$PCA-WI_a = |PCA-CI| \quad (2)$$

$$PCA-WI_r = \frac{|PCA-CI| - \min|PCA-CI|}{\max|PCA-CI| - \min|PCA-CI|} \quad (3)$$

kjer je  $PCA(x, y)$  prva normalizirana glavna komponenta (PCA-1). Vhodni vzorec smo, tako kot Rüetschi et al. (2019), razdelili na dva dela,  $T_1$  in  $T_2$ , ki predstavljata podatke pred vetrolomom in po njem. Glavno komponento najprej izračunamo posamezno za odboje  $\gamma^0$  dvopolnih in enopolnih kombinacij, nato še za vsako časovno obdobje združenih PCA-1 posebej. PCA-CI predstavlja razlike vrednosti glavnih komponent enopolnih in dvopolnih kombinacij časovnih obdobj pred dogodkom in po njem ter posledično prikazuje območja, ki so doživela največjo spremembo med obdobji. PCA-WI izračunamo kot absolutno vrednost PCA-CI, saj pri vetrolomu domnevamo, da smer razpršenosti spremenljivke ni pomembna, v prvem koraku nas namreč ne zanima, ali je drevo izruvano ali prelomljeno, temveč le velikost spremembe. Zaloga vrednosti PCA-WI je med 0 in 1.  $PCA-WI_a$  je absolutni indeks in je primeren za primerjavo različnih dogodkov, ki imajo različne magnitude, lokacije in čase.  $PCA-WI_r$  je relativni indeks in je primeren za lažjo interpretacijo dogodka na specifičnem območju v specifičnem času, saj je rezultat normalizacije *Min-Max*. Normalizacijo izvajamo na podatkih, ki so inverzno maskirani (maskirana območja so na slikah 5, 6 in 7 označena s črno) ter vsebujejo informacije le na gozdnih sestojih. Časovna vrsta je sestavljena iz osmih posnetkov (naraščajoče in padajoče tirnice, od 6. do 24. oktobra 2018) pred dogodkom in šestih posnetkov (naraščajoče in padajoče, od 4. do 17. novembra 2018) po dogodku študijskega območja, prikazanega na sliki 5. Posnetkov iz 29. in 30. oktobra 2018 nismo upoštevali, ker ne vemo, za katero obdobje,  $T_1$  ali  $T_2$ , bi jih upoštevali. Proces obdelave podatkov opisujemo v nadaljevanju.





Slika 5: Študijsko območje.

### 3.2 Priprava vhodnih podatkov in vmesni rezultati

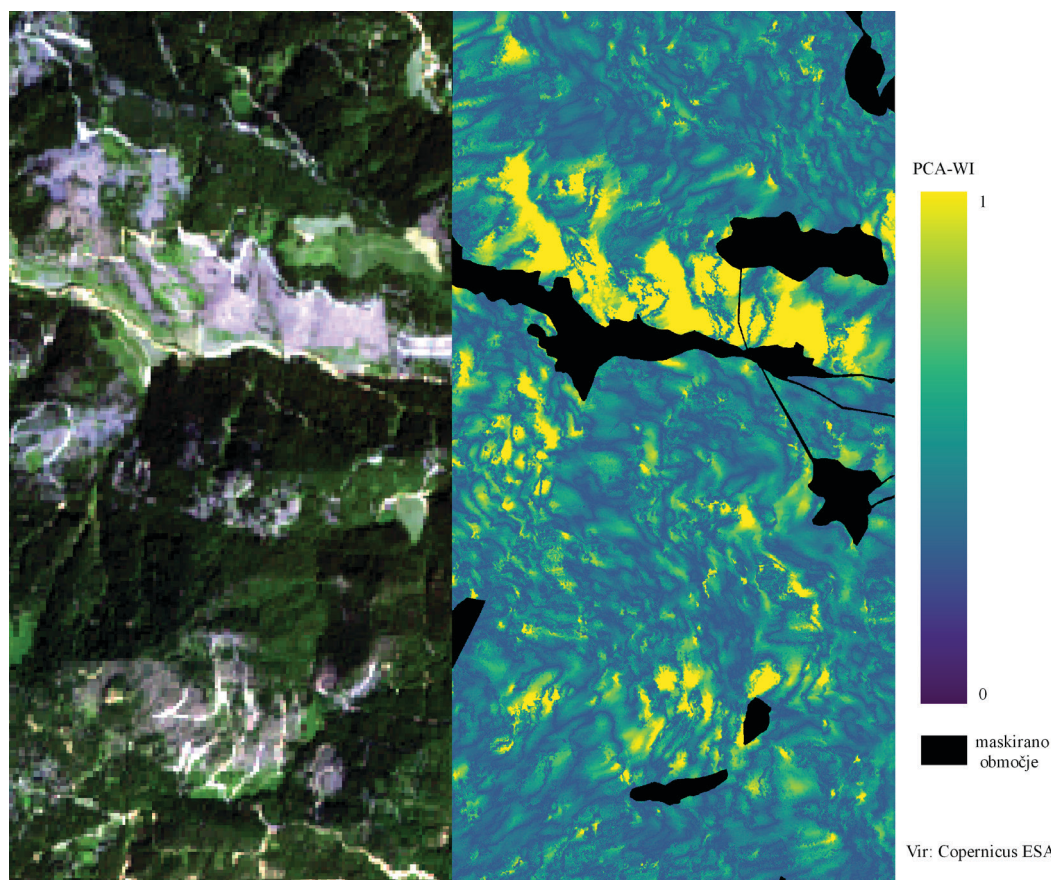
Podatke Sentinel-1 GRD smo obdelali po naslednji korakih:

1. posodabljanje s preciznimi tirnicami;
2. radiometrična kalibracija VH in VV v odboja  $\gamma^0$  (Laur et al., 2004);
3. radiometrični terenski popravek odboja na podlagi digitalnega modela površja ločljivosti 1 m;
4. odstranjevanje pegastega šuma z uporabo »enkrat pogledanega« filtra Lee-Sigma s parametri: premično okno velikosti  $7 \times 7$ , tarča velikosti  $3 \times 3$  in vrednost  $\sigma$  0,9;
5. geometrični terenski popravek *Range-Doppler* z radiometrično normalizacijo na podlagi digitalnega modela površja ločljivosti 1 m;
6. transformacija iz linearnih vrednosti v decibele.

V nasprotju z raziskavami Quegan et al. (2000), Eriksson et al. (2012), Rüetschi et al. (2019) predlagamo enočasovno odstranjevanje šuma ter geometrični terenski popravek *Range-Doppler* (Logan, 1995). Odstranjevanje pegastega šuma z enočasovnim filtrom izvajamo, ker lahko veččasovni filtri minimalne razlike v pikslih identificirajo kot šum in jih odstranijo (Mirelva et al., 2017). Dodatni geometrični popravek je potreben, ker študijsko območje stoji v visokogorju. V navedenih raziskavah so študijski primeri obravnavali ravninska območja, zato dodatni terenski popravki niso bili izvedeni.

#### 4 REZULTATI IN NJIHOVO OVREDNOTENJE

PCA-WI je rastrski sloj, ki vsebuje vrednosti o obsegu spremembe na območju. Rezultate smo najprej primerjali s prvim brezoblačnim posnetkom Sentinel-2 iz 30. junija 2019 (slika 6).

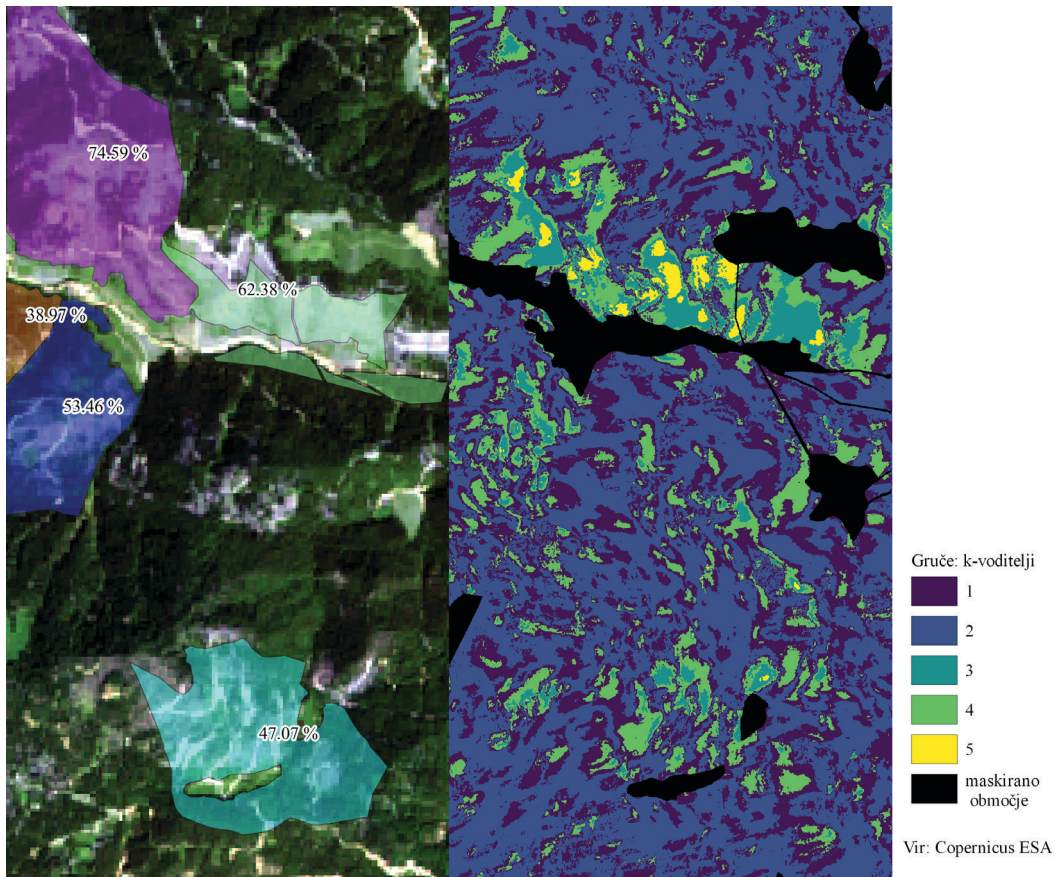


Slika 6: Primerjava posnetka Sentinel-2 in rastrskega sloja PCA-WI za študijsko območje s slike 5.

Pri fotointerpretaciji lahko opazimo, da so območja, ki so najbolj prizadeta z vetrolomom (slika 5 prikazuje stanje pred tem), skladna z najvišjimi vrednostmi indeksa  $PCA-WI_r$ . Vrednosti smo primerjali s podatki terenske kontrole ZGS, ki vsebujejo areale območij vetroloma s pripisanim odstotkom poškodovanih dreves. Vrednosti  $PCA-WI_r$  na območju smo primerjali z odstotkom poškodovanih dreves z uporabo Kendallovega ( $\tau$ ) in Pearsonovega korelacijskega koeficienta ( $\rho$ ). Vrednost korelacijskega koeficienta  $\tau$  je popolna (1), medtem ko je vrednost  $\rho$  0,96. Kendallov korelacijski koeficient je primernejši za manjše vzorce od Pearsonovega (Bonnet et al., 2000). Na podlagi izračunanega lahko trdimo, da je skladnost terenskih kontrol z vrednostmi našega indeksa boljša od 0,96. V nadaljevanju smo še pregledali gruče najbolj poškodovanih območij.  $PCA-WI_r$  smo samodejno klasificirali z metodo gručenja *k*-voditeljev (angl. *k-means*, Rubin, 1967) v pet razredov. Izbrana je metoda *k*-voditeljev, ker PCA in *k*-voditelji izvajajo primerljivo objektno transformacijo, pri čemer *k*-voditelji izvajajo diskretno transformacijo, PCA pa zvezno (Ding in He, 2004). Na sliki 7 lahko vidimo, da gruče, ki predstavljajo najmočnejše spremembe



(4 in 5), najdemo na območjih golih tal, kjer je bil vetrolom najmočnejši. Na prvi pogled bi lahko trdili, da PCA-WI pridobiva podatke o golih tleh, kar ne drži, saj je izračunan za datum nastopa vetroloma (pred sanacijo), ko je bilo poškodovano območje sestavljeno le iz poškodovanih dreves (kot je vidno na sliki 1). Posnetek satelita Sentinel-2 iz junija 2019 smo uporabili za primerjavo, ker je fotointerpretacija saniranih območij veliko lažja od fotointerpretacije poškodovanih, nesaniranih območij.



Slika 7: Primerjava terenskih kontrol ZGS (levo) in gruč PCA-WI.

## 5 SKLEP

Predlagana metoda obdelave časovnih vrst podatkov C-SAR s pridobivanjem indeksa PCA-WI se je izkazala kot izjemno koristna pri identifikaciji območij vetroloma, saj omogoča hitro ugotavljanje najbolj prizadetih območij. Tovrstni rezultati so lahko podlaga za optimizacijo operacij pristojnih služb. Na podlagi izjemno visoke korelacije s terenskimi podatki domnevamo, da PCA-WI omogoča izvajanje napovedi odstotka poškodovanih dreves. Ocene poškodovanih območij trenutno potekajo le s terenskimi analizami. S kombinacijo terenskih analiz in predstavljenih analiz podatkov daljinskega zaznavanja bi lahko zmanjšali stroške in pospešili izvedbo sanacijskih načrtov. Rezultati raziskave odpirajo nova vprašanja, kot je na primer preizkus uporabe PCA-WI-gruč, združenih z metodo k-voditeljev, kot objektov za strojno učenje



pikselskih ali objektnih klasifikatorjev (na primer z metodo podpornih vektorjev in naključnimi gozdovi). Tako bi lahko izračunali odstotke poškodovanih dreves na poljubnih arealih. Identifikacija območij vetroloma je bila izvedena z analizo podatkov, ki so bili na voljo 18 dni po dogodku. Zanimivo bi bilo izvesti študijo, s katero bi ocenili možnost identifikacije območij vetroloma v še krajšem času po dogodku in ovrednotili, kako se spreminja skladnost terensko ovrednotenih in izračunanih poškodb s spremembo površine raziskovanega areala, ter primerjali rezultate s tistimi, ki so bili pridobljeni z drugimi metodami.

## ZAHVALA

Raziskovalno delo je bilo opravljeno v okviru projekta HARMO-DATA, ki je potekal v okviru programa Interreg V-A Italija-Slovenija 2014–2020.

## Literatura in viri:

- AlpMon (2018). Satellite Earth Observation to highlight hot spots of damaged forest areas. E04Alps, The Alps from Space Workshop, 27–29 June 2018 Villa Blanka, Innsbruck, Austria.
- BBC (2018). Venice under water as deadly storms hit Italy. <https://www.bbc.com/news/world-europe-46029302>, pridobljeno 1. 2. 2020.
- Belgiu, M., Csillik, O. (2018). Sentinel-2 cropland mapping using pixel-based and object-based time-weighted dynamic time warping analysis. *Remote Sensing of Environment*, 204, 509–523. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.rse.2017.10.005>
- Breznikar, A. (2018). Ukrepi po vetrolomu v slovenskih gozdovih med 11. in 13. decembrom 2017. *Ujma*, 32, 86–93.
- Bonett, D. G., Wright, T. A. (2000). Sample size requirements for estimating pearson, kendall and spearman correlations. *Psychometrika*, 65, 23–28. DOI: <https://doi.org/10.1007/BF02294183>
- Cartus, O., Kellndorfer, J., Rombach, M., Walker, W. (2012). Mapping canopy height and growing stock volume using airborne lidar, ALOS PALSAR and Landsat ETM+. *Remote Sensing*, 4 (11), 3320–3345. DOI: <https://doi.org/10.3390/rs4113320>
- Ding, C., He, Y. (2004). K-means clustering via Principal Component Analysis. V: *Proceedings of the Twenty-first International Conference on Machine Learning*, 29. ICML '04. New York, NY, USA: ACM. DOI: <https://doi.org/10.1145/1015330.1015408>
- Dnevnik (2018). Nedavni vetrolom poškodoval 280.000 kubičnih metrov drevja. Dnevnik, Družba medijskih vsebin, d.d. <https://www.dnevnik.si/1042846274/slovenija/nedavni-vetrolom-poskodoval-280000-kubicnih-metrov-drevja>, pridobljeno 1. 2. 2020.
- Eineder, M., Roth, A., Moreira, A. (2019). Ten years of TerraSAR-X—Scientific Results. *MDPI*, 276–278.
- ESA (2020). Sentinel-1 SAR Technical Guide. <https://sentinel.esa.int/web/sentinel/technical-guides/sentinel-1-sar>, pridobljeno 13. 8. 2020.
- Eriksson, L. E. B., Fransson, J. E. S., Soja, M. J., Santoro, M. (2012). Backscatter signatures of wind-thrown forest in satellite SAR images. 2012 IEEE International Geoscience and Remote Sensing Symposium, 6435–6438. DOI: <https://doi.org/10.1109/IGARSS.2012.6352732>
- Fransson, J. E. S., Walter, F., Blennow, K., Gustavsson, A., Ulander, L. M. H. (2002). Detection of storm-damaged forested areas using airborne CARABAS-II VHF SAR image data. *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, 40 (10), 2170–2175. DOI: <https://doi.org/10.1109/TGRS.2002.804913>
- Fransson, J. E. S., Pantze, A., Eriksson, L. E. B., Soja, M. J., Santoro, M. (2010). Mapping of wind-thrown forests using satellite SAR images. 2010 IEEE International Geoscience and Remote Sensing Symposium, 1242–1245. DOI: <https://doi.org/10.1109/IGARSS.2010.5654183>
- Green, R. M. (1998). The sensitivity of SAR backscatter to forest windthrow gaps, *International Journal of Remote Sensing*, 19 (12), 2419–2425. DOI: <https://doi.org/10.1080/014311698214811>
- Henderson F. M., Lewis A. J. (1998). Principles and applications of imaging radar (Manual of Remote Sensing, Volume 2): Wiley, New York, 2–48.
- Hotelling, H. (1933). Analysis of a complex of statistical variables into principal components. *Journal of Educational Psychology*, 24, 417–441 in 498–520. DOI: <https://doi.org/10.1037/h0071325>
- Italy magazine (2018). Storms in Italy's Dolomites raze centuries-old forests. <https://www.italymagazine.com/news/storms-italys-dolomites-raze-centuries-old-forests>, pridobljeno 1. 2. 2020.
- Jakša, J., Kolšek, M. (2009). Naravne ujme v slovenskih gozdovih. *Ujma*, 23, 72–81.
- Koroške novice (2018). Vetrolom v Koprivni, gasilci na delu že ves dan. Spletni medij Koroške novice. <https://www.koroskenovice.si/novice/foto-vetrolom-v-koprivni-gasilci-na-delu-ze-ves-dan/>, pridobljeno 1. 2. 2020.
- Künzer, C., Dech, S., Wagner, W. (ur.). (2015). Remote sensing time series: Revealing land surface dynamics. Remote Sensing and Digital Image Processing, Springer International Publishing Switzerland, 323–356. DOI: [https://doi.org/10.1007/978-3-319-15967-6\\_16](https://doi.org/10.1007/978-3-319-15967-6_16)
- Laur, H., Bally, P., Meadows, P., Sanchez, J., Schaettler, B., Lopinto, E., Esteban, D. (2004). ERS SAR calibration: Derivation of  $\sigma_0$  in ESA ERS SAR PRI products, ESA/ESRIN, ES-TN-RS-PM-HL09, Issue 2, Rev. 5f, November 2004.
- Logan, T. L. (1995). Terrain correction of synthetic aperture radar imagery using the Cray T3D. CUG 1995 Spring Proceedings, Alaska SAR Facility.
- Mesner, N. (2016). Analiza možnosti uporabe samodejne klasifikacije podobe za vzdrževanje prostorskih podatkovnih zbirk. Magistrsko delo. Univerza v Ljubljani,

- Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo, 13–16.
- Météo-France (2018). Corse: Violente tempête le 29 octobre. <http://www.meteofrance.fr/actualites/67470814-corse-violente-tempete-le-29-octobre>, pridobljeno 1. 2. 2020.
- Mirelva, P. R., Nagasawa, R. (2017). Single and multi-temporal filtering comparison on synthetic aperture radar data for agriculture area classification. Proceedings of the International Conference on Imaging, Signal Processing and Communication, 72–75. DOI: <https://doi.org/10.1145/3132300.3132316>
- NASA (1989). SAR (Synthetic Aperture Radar). Earth observing system. Volume 2F: Instrument panel report. Earth Science and Application Division, NASA Headquarters, Washington DC.
- Niculescu, S., Ienco, D., Hanganu, J. (2018). Application of deep learning of multi-temporal Sentinel-1 images for the classification of coastal vegetation zone of the Danube delta. ISPRS – International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences, XLII–3, 1311–1318. DOI: <https://doi.org/10.5194/isprs-archives-XLII-3-1311-2018>
- Oštir, K., (2006). Daljinsko zaznavanje. Ljubljana: Založba ZRC.
- Preslica (2019). Vetrolom. <https://www.gozd-les.com/upravljanje-gozdov/tezave-gozdom/ujme/vetrolom>, pridobljeno 1. 2. 2020.
- Rojko, I. (2016). Uporaba diferencialne radarske interferometrije za opazovanje premikov površja. Magistrsko delo. Univerza v Ljubljani, Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo.
- Rossi, C. (2015). Decolla la space economy italiana. AirPress. <http://www.airpressonline.it/8562/decolla-la-space-economy-italiana/>, pridobljeno 1. 2. 2020.
- Rubin, J. (1967). Optimal classification into groups: An approach for solving the taxonomy problem. Journal of Theoretical Biology, 15, 103–144. DOI: [https://doi.org/10.1016/0022-5193\(67\)90046-X](https://doi.org/10.1016/0022-5193(67)90046-X)
- Rüetschi, M., Small, D., Waser, L. (2019). Rapid detection of windthrows using Sentinel-1 C-Band SAR data. Remote Sensing, 11 (2), 115. DOI: <https://doi.org/10.3390/rs11020115>
- Santoro, M., Beer, C., Cartus, O., Schmullius, C., Shvidenko, A., McCallum, I., Wegmueller, U., Wiesmann, A. (2010). The BIOMASAR algorithm: An approach for retrieval of forest growing stock volume using stacks of multi-temporal SAR data. Proceedings of ESA Living Planet Symposium, 28. junij–2. julij 2010.
- Small, D., Holec, F., Nuesch, D. (1995). Combination of ascending/descending ERS-1 InSAR data for calibration and validation. 1995 International Geoscience and Remote Sensing Symposium, IGARSS '95. Quantitative Remote Sensing for Science and Applications, 1, 553–555. DOI: <https://doi.org/10.1109/IGARSS.1995.520452>
- Spoto, F., Sy, O., Laberinti, P., Martimort, P., Fernandez, V., Colin, O., Hoersch, B., Meygret, A. (2012). Overview of Sentinel-2. 2012 IEEE International Geoscience and Remote Sensing Symposium, 1707–1710. DOI: <https://doi.org/10.1109/IGARSS.2012.6351195>
- Torres, R., Snoeij, P., Geudtner, D., Bibby, D., Davidson, M., Attema, E., Potin, P., Rommen, B., Floury, N., Brown, M., Traver, I. N., Deghaye, P., Duesmann, B., Rosich, B., Miranda, N., Bruno, C., L'Abbate, M., Croci, R., Pietropaolo, A., Huchler, M., in Rostan, F. (2012). GMES Sentinel-1 mission. Remote Sensing of Environment, The Sentinel Missions – New Opportunities for Science, 120, 9–24. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.rse.2011.05.028>
- ZGS (2018a). Podrobnejša ocena obsega poškodb zaradi vetroloma v noči iz 29. na 30. oktober 2018 v slovenskih gozdovih in ukrepih. Zavod za gozdove Slovenije.
- ZGS (2018b). Načrt sanacije gozdov, poškodovanih v vetrolomu od 11. do 13. decembra 2017. Osnutek načrta sanacije gozdov, poškodovanih v vetrolomu, od 11. do 13. decembra 2017. Zavod za gozdove Slovenije.



Mangafič A., Puhar M., Barborič B. (2020). Identifikacija območij vetroloma na podlagi časovne vrste s podatki C-SAR. Geodetski vestnik, 64 (3), 335–347. DOI: <https://doi.org/10.15292/geodetski-vestnik.2020.03.335-347>

**Alen Mangafič, mag. prost. načrt.**

Geodetski inštitut Slovenije  
Jamova cesta 2, SI-1000 Ljubljana  
e-naslov: [alen.mangafic@gis.si](mailto:alen.mangafic@gis.si)

**Martin Puhar**

IGEA, d. o. o.  
Podpeška cesta 1, SI-1351 Brezovica pri Ljubljani  
e-naslov: [martin.puhar@igea.si](mailto:martin.puhar@igea.si)

**Blaž Barborič, univ. dipl. geog.**

Geodetski inštitut Slovenije  
Jamova cesta 2, SI-1000 Ljubljana  
e-naslov: [blaz.barboric@gis.si](mailto:blaz.barboric@gis.si)

# PRIMERJAVA DREVESNIH ALGORITMOV RAZVRŠČANJA PRI ZAJEMU OBMOČIJ POGORELIH GOZDOV

# COMPARISON OF TREE- BASED CLASSIFICATION ALGORITHMS IN MAPPING BURNED FOREST AREAS

*Dilek Kucuk Matci, Resul Comert, Ugur Avdan*

UDK: 004.421:528.8:630  
Klasifikacija prispevka po COBISS.SI: 1.01  
Prispelo: 12. 2. 2020  
Sprejeto: 23. 8. 2020

DOI: 10.15292/geodetski-vestnik.2020.03.348-360  
SCIENTIFIC ARTICLE  
Received: 12. 2. 2020  
Accepted: 23. 8. 2020

## IZVLEČEK

V študiji primerjamo rezultate različnih drevesnih algoritmov razvrščanja območij za zajem pogorelih gozdov v sredoziemskem delu Turčije, to so naključni gozd (angl. random forest), rotacijski gozd (angl. rotation forest), J48, izmenično odločitveno drevo (angl. alternating decision tree), gozd z izločanjem atributov (angl. forest by penalising attributes), logična analiza podatkovnih algoritmov (angl. logical analysis of data algorithm) in funkcionalni gozd (angl. functional forest). Izvedli smo objektno analizo (OBIA, angl. object-based image analysis) izostrenih satelitskih podob Landsat 8. V študijo so bila vključena štiri pogorela območja oziroma regije, to so Kumluca, Adrasan, Anamur in Alanya. Kumluca, Anamur in Alanya so bili izbrani za učenje, medtem ko je bil Adrasan uporabljen kot študijsko območje. Rezultate smo ovrednotili z matriko razvrstitev in statističnimi analizami. Rezultati so bili najboljši pri uporabi algoritmov funkcionalnih dreves in rotacijskih dreves, pri čemer so se rezultati izkazali tudi statistično značilni, medtem ko so bili pri drugih algoritmih slabši.

## ABSTRACT

In this study, we compared the performance of tree-based classification algorithms – Random Forest (RF), Rotation Forest (RotF), J48, The Alternating Decision Tree (ADTree), Forest by Penalising Attributes (Forest PA), Logical Analysis of Data Algorithm (LADTree) and Functional Trees (FT) – for mapping burned forest areas within the Mediterranean region in Turkey. Object-based image analysis (OBIA) was performed to pan-sharpened the Landsat 8 images. Four different burned areas, namely Kumluca, Adrasan, Anamur, and Alanya, were used as study areas. Kumluca, Anamur, and Alanya regions were used as training areas, and Adrasan region was used as the test area. Obtained results were evaluated with confusion matrix and statistically significant analysis. According to the results, FT and RotF produced more accurate results than other algorithms. Also, the results obtained with these algorithms are statistically significant.

## KLJUČNE BESEDE

drevesni algoritmi, strojno učenje, daljinsko zaznavanje, nadzorovana klasifikacija, Landsat

## KEY WORDS

tree-based algorithm, machine learning, remote sensing, supervised classification, Landsat

## 1 INTRODUCTION

Forest fires threaten the forest ecosystems in the Mediterranean region as well as in forest ecosystems all over the world (Gonçalves and Sousa, 2017). Although the fires in the Mediterranean ecosystem are an expected consequence due to climatic effects (hot and dry summers), it has been observed that they have increased dramatically in recent years. Only in 2017, a total of 50,727 fires occurred in countries located in the Mediterranean climate zone (Italy, Portugal, France, Greece, Turkey, Spain), which nearly 1 million hectares of forest were damaged (San-Miguel-Ayán, 2019). As a result of increasing fire events, the Mediterranean ecosystem may expose to loss of biodiversity, desertification and soil erosion. Fires also cause economic losses, human life losses, and greenhouse emissions (Vilén and Fernandes, 2011).

After a forest fire, rapid mapping of the burned area is an important task to determine the effects of fires and to plan and manage the reforestation activities (Palandjian, Gitas and Wright, 2009; Vallejo, Arianoutsou, and Moreira, 2012; Chen et al. 2017; Meng et al., 2017). Also, burned area maps can be used as input to produce future fire risk maps (Filippidis and Mitsopoulos, 2004). Satellite imagery has provided very important contributions in the mapping of burned areas since the 1980s (Flannigan and Haar, 1986). The most commonly used method for extracting information from satellite images is image classification. Many image classification algorithms have been applied in mapping burned areas from past to present (Pereira, 1999; Chuvieco Martin and Palacios, 2002, Epting, Verbyla and Sorbel, 2005; Loboda, O'neal and Csiszar, 2007; Escuin, Navarro and Fernandez, 2008; Palandjian, Gitas and Wright, 2009; Petropoulos et al., 2010; Bastarrika, Chuvieco and Martín, 2011; Mitrakis et al., 2012). These studies were generally based on classical classification algorithms such as rule-based classification or change detection. On the other hand, Machine learning algorithms that can successfully classify many variables in large data sets have become more popular in remote sensing applications (Lary et al. 2016). A limited number of machine learning algorithms such as Random Forest (RF), Support Vector Machine (SVM), Neural Networks (NN) and a well-known decision tree algorithm (C5.0) were used for mapping burned areas from satellite images (Petropoulos, Kontoes, and Keramitsoglou, 2011; Dragozi et al., 2014; Ramo and Chuvieco, 2017; Pereira et al., 2017; Ramo et al., 2018; Çömert, Matcı, and Avdan, 2018). In recent years, fast and efficient classification algorithms have been developed for classifying data in complex data sets, particularly in the classification of satellite images for the production of thematic maps. Among these methods, tree-based classification algorithms are proposed as an effective classification algorithm which is used to solve many application problems (Pal and Mather, 2001; Tan, Dowe and Dix, 2007; Al Snousy et al., 2011; Sothe et al., 2018). Tree-based machine learning algorithms are effective algorithms for accurate classification of large datasets with many variables. These algorithms have been successfully implemented in different field of data mining applications (Nithya and Santhi, 2015; Estuar et al., 2017). Rotation Forest (RotF), J48, and RF were the algorithms currently used in the classification of satellite images (Vieira et al., 2012; Sharma, Ghosh and Joshi, 2013; Kavzoglu, Colkesen and Yomralioglu, 2015; Du et al., 2015; Belgiu and Drăguț, 2016). On the other hand, there are many tree-based algorithms that can be used successfully in satellite image classification. Forest by Penalizing Attributes (Forest PA) (Adnan and Islam, 2017), Alternating Decision Tree (ADTree) and Logical Analysis of Data Algorithm (LADTree) have not been used in remote sensing applications.

This study aims to investigate the success of the different tree-based classifiers that can be used for mapping burned areas with medium spatial resolution and no-cost satellite image. For this aim, seven

tree-based classification algorithms (RF, RotF, J48, ADTree, Forest PA, LADTree, FT) were compared on the Landsat 8 images of burned forest areas within the Mediterranean region in Turkey. The accuracy of the results was evaluated according to the confusion matrix. Then, McNemar's test was performed to compare the classification algorithms based on the accuracy results.

## 2 STUDY AREA AND DATASETS

The study areas are located in the Mediterranean region of Turkey (Figure 1). Kumluca, Adrasan and Alanya are within the province of Antalya, and Anamur is within the province of Mersin. These cities are the Mediterranean cities which have a first-degree fire risk potential. Mediterranean climate characteristics such as unfavourable meteorological conditions, flammable Mediterranean vegetation, and rugged topographic structure, increase the forest fire risk in these areas. Most of the forest areas in Antalya and Mersin provinces consist of red pine forests (*Pinus brutia* Ten.). 65 % of the forests in the province of Antalya, and 79 % of the forests in the province of Mersin consist of red pine forests. There is a long dry period, characterised by high temperatures and relatively low humidity in the summer months, in areas where red pine forests are spread. During this period, since the moisture content of both the living vegetation cover and the dead vegetation cover is decreased significantly, the risk of fire is extremely high (Küçükosmanoğlu, 1990; Duran, 2014). The four burned forest areas selected as the study area consist of red pine forests.

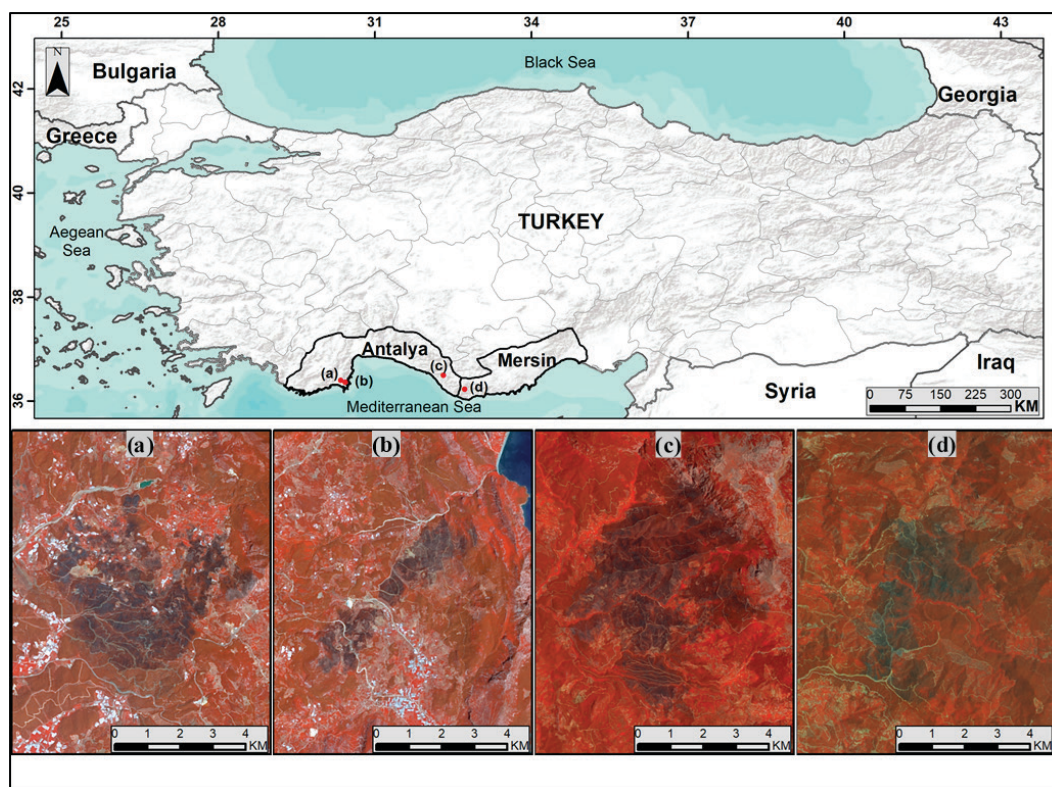


Figure 1: Study areas a) Kumluca (The First Training Area) b) Adrasan (Test Area) c) Alanya (The Second Training Area) d) Anamur (The Third Training Area).



The Adrasan and Kumluca fire events occurred on 24–27 June 2016. During these events, 1320 ha forest area in Kumluca and 520 ha forest area in Adrasan were burned. The Alanya fire event occurred on 31 June–2 July 2017. In this event, 1 500 hectares of forest area were damaged. The Anamur fire event occurred on 1–3 July 2017, and during this event, 200 hectares of forest area were burned.

The USGS Landsat mission is one of the longest moderate-resolution free satellite image resources for agriculture, geology, forestry, regional planning, education, and mapping resource all over the world. Landsat 8 that is the last satellite of Landsat mission has two sensors that are Operational Land Imager (OLI) and Thermal Infrared Sensor (TIRS). In this study, OLI Level-1 Processing Terrain Precision (L1TP) post-event satellite images (08 July 2016 for Adrasan and Kumluca, 4 July 2017 for Anamur and Alanya) were used. The Landsat L1TP collection is radiometrically calibrated and orthorectified using ground control points and digital elevation model (DEM) data, to correct for relief displacement (URL 2). In this study, six multispectral bands (Blue, Green, Red, NIR, SWIR 1, SWIR 2) of Landsat 8 were used for burned forest area mapping using tree-based algorithms. Also, the panchromatic band was used for the pan-sharpening of these spectral bands.

### 3 METHODS

Object-based image analysis approach was used to compare the success of tree-based classification algorithms. Training and test datasets were generated for comparison. The training data was used to determine the optimal classification models by testing different parameters for every classification algorithm. Then, the optimal classification models were applied to the test data set. The accuracy analysis of the results was performed according to the confusion matrix. McNemar's test was applied to the comparison of the classification algorithms. Applied methods of this study consist of six steps which are pan-sharpening, image segmentation, calculation of image objects attributes, creating training and test data, classification, and accuracy assessments and comparison (Figure 2).

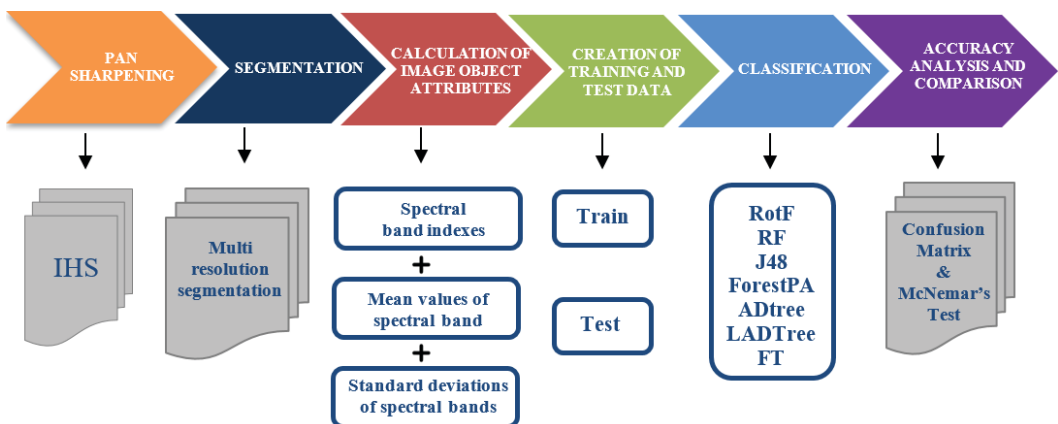


Figure 2: Applied methodology for comparison of tree-based classification algorithms.



a. Pan-Sharpening

During pan-sharpening steps, 6 multispectral bands were pan-sharpened using a 15-meter spatial resolution panchromatic band. During the pan-sharpening phase, the intensity–hue– saturation (IHS) algorithm was applied to spectral bands. In this method, the image is converted from RGB colour space to IHS colour space. The Intensity band is replaced by a panchromatic image, assuming that the band is equivalent to a panchromatic image. A high-resolution multi-band image is obtained by reverse IHS conversion (Rahmani et al., 2010).

b. Image Segmentation

Pixel-based image analysis (PBIA) and object-based image analysis (OBIA) are two main image classification approaches in remote sensing applications. Many studies have compared the performance of these two approaches. OBIA gives more accurate results when applied to very high-resolution images (Ghosh and Joshi, 2014; Sertel and Alganci, 2015; Kavzoğlu and Erdemir, 2016), it gives almost close or slightly outperforming results with PBIA when applied to medium resolution images (Esetlili et al., 2018). In this study, OBIA was preferred because the two approaches were not statistically different in medium resolution images.

Image segmentation is the first stage of the OBIA. The main aim of this stage is the creation of homogeneous and meaningful image objects for image classification. The multi-resolution segmentation (MRS) that were commonly used algorithm in OBIA was preferred as image segmentation (Baatz and Schape, 2000). The MRS is a region enhancement algorithm that combines pixels or existing image objects. The method starts at the one-pixel level and combines neighbouring pixels depending on a spectral and geometric homogeneity criterion. In the study, MRS was implemented using Ecognition Developer (version: 9.0) software. In the segmentation process, six pan-sharpened spectral bands were used. To obtain optimal image objects, the scale parameter, shape, compactness and layer weight were specified by the trial and error method (Benz et al., 2004).

c. Calculation of image object metrics

The forest fires directly affect the vegetation. There are many studies on burned area mapping and burned severity assessment, which used burned area indices and vegetation indices for the increasing success of the methods (Fraser, Li, and Cihlar, 2000; Chuvieco, Martin, and Palacios, 2002; Loboda, O’neal, and Csiszar, 2007; Schepers et al., 2014).

Table 1: Spectral bands indices using for the classification process.

| Band Index                             | Formulation                                                                                                                            | References                            |
|----------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------|
| Brightness values (B)                  | $B = \left(\frac{1}{n}\right) * \sum_{i=1}^n ci$ <p>n= indicates of number band<br/>ci: sum of the object mean values in the bands</p> | (Stumpf and Kerle,2011)               |
| Burned Area Index (BAI)                | $1/((0.1 - Red)^2 + (0.06 - NIR)^2)$                                                                                                   | (Chuvieco Martin, and Palacios, 2002) |
| Normalized Burn Ratio (NBR)            | $(NIR - SWIR\ 2) / (NIR + SWIR\ 2)$                                                                                                    | (Key and Benson, 2006)                |
| Normalized Burn Ratio 2 (NBR2)         | $(SWIR\ 1 - SWIR\ 2) / (SWIR\ 1 + SWIR\ 2)$                                                                                            | (USGS)                                |
| Normalized Difference Vegetation Index | $(NIR - Red) / (NIR + Red)$                                                                                                            | (Tucker, 1979)                        |
| Soil-adjusted Vegetation Index         | $((NIR - Red) / (NIR + Red + 0.5)) * (1.5)$                                                                                            | (Huete, 1988).                        |

The eighteen object attributes were used in the classification. These attributes consist of six spectral bands mean values (Blue, Green, Red, NIR, SWIR 1, SWIR 2), six standard deviations of spectral bands and six band indices. The mean values of the bands are obtained by dividing the total value of the pixels falling into an image object by the number of pixels. When calculating the standard deviation values of the bands, firstly, the sum of the differences of each pixel value forming the image object from the average value is calculated. The calculated value is divided by one minus the total number of pixels, and the square root of that value is calculated. The names and formulas of the band indices used are given in Table 1.

#### d. Classification

Seven tree-based algorithms were tested in this study. The common feature of these algorithms is that they are the tree-based supervised classification methods. In this context, training and test data are needed. Within the scope of the study, we collected the training data from the different parts of the Mediterranean region. The common characteristics of these regions are that they have similar geographical specifications and vegetation types as the test area. These training data collected from the regions affected by the fires occurred in the Kumluca, Alanya and Anamur regions (Figure 1a, 1c, 1d). Adrasan burned area was used as the test dataset (Figure 1b).

In this study, one of the methods used for mapping burnt areas is the random forest (RF) method. The random forest method developed by Breiman (1996), creates multiple decision trees and combines them to get a more accurate and stable forecast (Breiman, 2001). Random Forest adds additional randomness to the model as it grows trees. Rather than searching for the most important feature when splitting a node, it looks for the best feature among a random subset of features. This results in a wide variety that often results in a better model.

In the rotation forest algorithm (RotF), more than one tree is used as it is in the random forest algorithm. Unlike the random forest algorithm, the data set to be used in the training of each decision tree in the forest is determined by the main component analysis. With the rotation forest algorithm, the training data set is randomly divided into subgroups during the training of the decision trees in the forest and feature extraction is performed by applying the analysis of the main components to each subgroup (Rodriguez, Kuncheva and Alonso, 2006).

The J48 classifier begins with the tree structure, dividing the trees and selecting the best root variable for the tree, and constructing from top to bottom. J48 is able to do an effective pruning to cut weak branches. One of the reasons is that the purpose of the decision trees is not to discover data but to create a simple classification model on the data (Patil and Sherekar, 2013).

The Alternating Decision Tree (ADTree) applies boosting procedures to produce accurate classifiers. The algorithm consists of decision nodes and prediction nodes. Decision states indicate an action result. Classification for a record is made by following the correct path of each prediction node, and all decision nodes passed through it (Freund and Mason, 1999).

The Forest by Penalizing Attributes (ForestPA) algorithm generates a very precise set of decision trees using all out-of-class attributes present in a data set. At the same time, penalties are imposed on the attributes of the most recent tree to form the next trees (Adnan and Islam, 2017).

Logical Analysis of Data Algorithm (LADTree) is a decision tree for the multi-class produces. So, it has the ability to enter more than one class. The modelling for a given set of data is based on creating large group patterns and choosing subgroups within each group by specific requirements in terms of prevalence and homogeneity (Boros et al., 2000).

Functional trees (FT) use the information of all input properties in both the nodes and leaves. The decision nodes in functional decision trees include a test data set based on attribute combination, and leaf nodes are in estimates due to a combination of attributes. The decision tests for multiple variables are performed in internal nodes, while class estimates are carried out using approximation curves in leaf nodes (Gama, 2004).

e. Accuracy Assessment

The classification results were evaluated using a confusion matrix, that summarises the classification performance of a classifier to test data (Table 2). The performance measures that are sensitivity, precision, f-score and overall accuracy were calculated from the confusion matrix (eq. 1-4) (Sokolova and Lapalme, 2009).

Table 2: Confusion matrix parameters.

| Actual Class | Predicted Class     |                     |
|--------------|---------------------|---------------------|
|              | (TP) True Positive  | (FN) False Negative |
|              | (FP) False Positive | (TN) True Negative  |

$$Sensitivity = \frac{TP}{TP + FN}$$

(1)

$$Precision = \frac{TP}{TP + FP}$$

(2)

$$F - score = \frac{2 * sensitivity * precision}{sensitivity + precision}$$

(3)

$$Accuracy = \frac{TP + TN}{TP + FN + FP + TN}$$

(4)

In order to calculate performance measures of tree-based classification algorithms according to the confusion matrix, 626 control points were randomly assigned to the test area (Figure 3). The ground truth class of the control points were determined using Google Earth software as they provide high-resolution images of the test area. Obtained results were evaluated using McNemar’s statistically significant test. This method used to analyse whether the two methods applied to the same data set are different (McNemar, 1947).

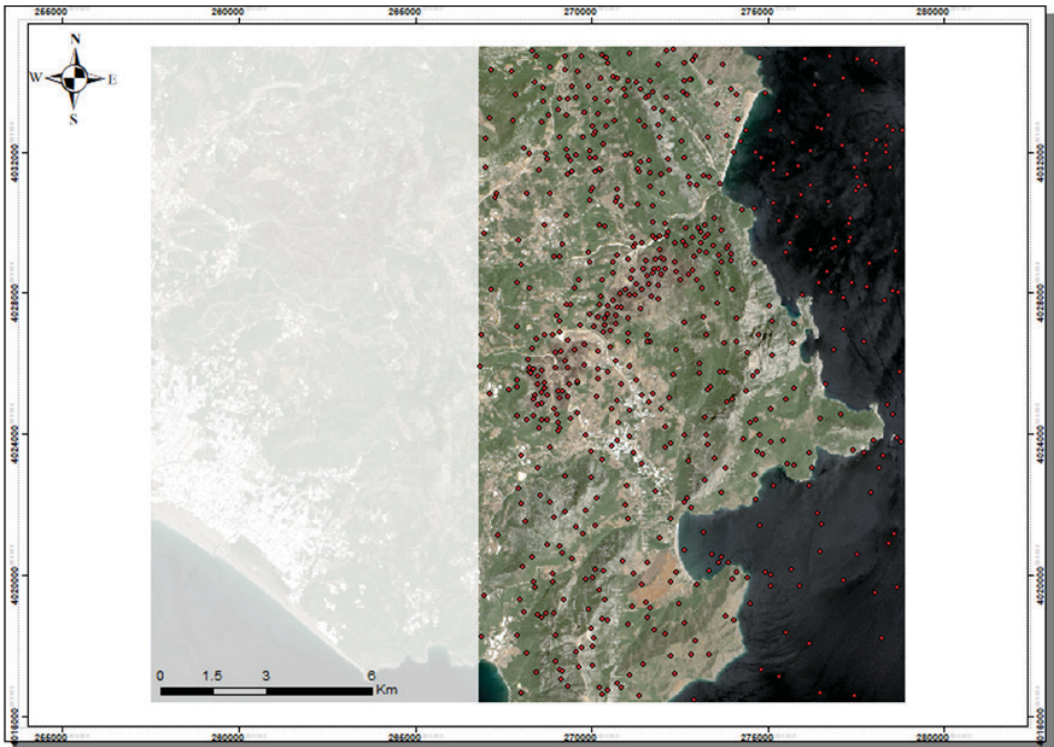


Figure 3: Red dots indicate the control points that were used at accuracy assessment.

#### 4. RESULTS AND DISCUSSION

During the segmentation process, to obtain optimum MRS segmentation parameters, the trial and error method was applied. As a result of the trial and error method, the appropriate parameter values for the data set were determined as scale factor 100, shape 0.3 and compactness 0.5. The equal weight values were assigned to all bands. These parameters were used for both training and test areas when creating image objects. After the segmentation process, image object attributes were calculated. Using image objects and their attributes, training and test datasets were generated for the classification step. In the training areas, image segments were defined in two classes, burned area (BA) and non-burned area (NBA). The classification models for each forest algorithms were developed by using the training database. These developed classification models were applied to the test data set, which cover the Adrasan burned area region to evaluate their success (Figure 1b). The obtained result maps for each classifier are shown in Figure 4.

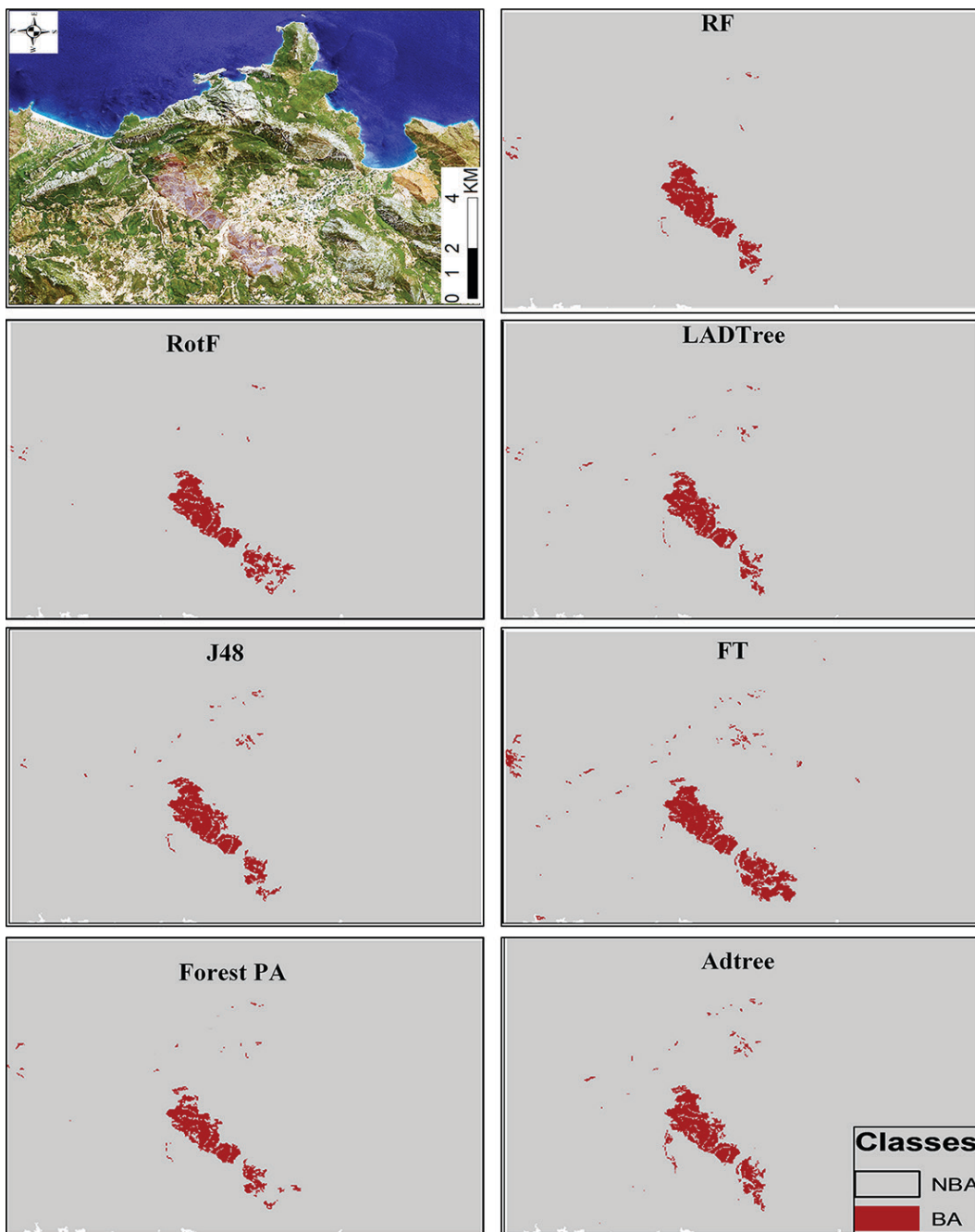


Figure 4: Result Maps of the applied tree-based algorithms. Red colour indicates the burned area (BA) and grey colour shows the non-burned area (NBA).

The confusion matrix of the results is given in Table 3. According to the sensitivity values, the best results were obtained by the FT algorithm, and the worst results were obtained by the Forest PA algorithm.

Furthermore, high accuracy value was produced by the RotF algorithm. It is seen that the precision values of all algorithms are high. According to the F-score, which are the harmonic balancer of precision and sensitivity, the highest results were obtained by FT and RotF algorithms. All these algorithms give higher overall accuracy results.

Table 3: Performance measures for all classifier.

| Algorithms       | RF       | RotF     | J48         | ADTREE | FOREST PA | LADTREE | FT          |
|------------------|----------|----------|-------------|--------|-----------|---------|-------------|
| Sensitivity      | 0.62     | 0.73     | 0.67        | 0.64   | 0.59      | 0.60    | 0.89        |
| Precision        | <b>1</b> | <b>1</b> | <b>0.98</b> | 0.98   | <b>1</b>  | 0.96    | <b>0.98</b> |
| F-Score          | 0.76     | 0.84     | 0.79        | 0.77   | 0.74      | 0.74    | 0.93        |
| Overall Accuracy | 0.95     | 0.96     | 0.95        | 0.95   | 0.95      | 0.95    | <b>0.98</b> |

To estimate statistical significance of the results obtained with the applied classifiers, McNemar's test was used to compare the classifiers in two subset combinations (Table 4 and Table 5). McNemar's tests were performed at %95 confidence interval. Also, the p-value was calculated according to the significance level of  $\alpha = 0.05$ . The results obtained with the FT algorithm according to Table 4 and Table 5 were found to be statistically significant compared to all other algorithms. Also, the RotF algorithm was found to be statistically significant compared to other algorithms except for the J48 algorithm.

Table 4: McNemar's test results for all classifiers.

|         | J48  | LADTREE | RotF         | FT           | RF           | FORET PA     |
|---------|------|---------|--------------|--------------|--------------|--------------|
| ADTREE  | 0.17 | 1.50    | <b>4.90</b>  | <b>15.04</b> | 0.00         | 0.44         |
| J48     |      | 3.125   | 1.76         | <b>13.14</b> | 0.80         | 1.45         |
| LADTREE |      |         | <b>10.08</b> | <b>18.89</b> | 0.80         | 0.00         |
| RotF    |      |         |              | <b>6.72</b>  | <b>7.11</b>  | <b>7.69</b>  |
| FT      |      |         |              |              | <b>14.81</b> | <b>19.36</b> |
| RF      |      |         |              |              |              | 0.17         |

Table 5: p-values of the classifiers according to McNemar's test.

|         | J48     | LADTREE | RotF           | FT             | RF             | FORET PA       |
|---------|---------|---------|----------------|----------------|----------------|----------------|
| ADTREE  | 0.34155 | 0.11034 | <b>0.01343</b> | <b>0.00005</b> | 0.5            | 0.25249        |
| J48     |         | 0.03855 | 0.09072        | <b>0.00014</b> | 0.18555        | 0.1139         |
| LADTREE |         |         | 0.00075        | <b>0.00001</b> | 0.18555        | 0.5000         |
| RotF    |         |         |                | <b>0.00476</b> | <b>0.00383</b> | <b>0.00277</b> |
| FT      |         |         |                |                | <b>0.00006</b> | <b>0.00001</b> |
| RF      |         |         |                |                |                | 0.34155        |

When the result maps were evaluated visually, the FT algorithm extracted some small areas as burned area according to the RotF algorithm. Although the RotF algorithm produces less noisy results, it was unable to extract some areas within the burned area. This has led to a decrease in the accuracy of the RotF algorithm. RotF algorithm is a method used in the classification of satellite images in different studies (Akar, 2017; Zhang et al., 2018; Pham et al., 2019) FT algorithm can be used in the mapping of burned forest areas. In this study, the FT algorithm provided better results than the RotF algorithm. The results showed that FT can be used for mapping burned areas.



## 5 CONCLUSION

This study aimed to compare the performance of seven tree-based classification algorithms for mapping burned areas using Landsat 8 images. As the study area, the Antalya and Mersin cities were selected, because these areas are one of the most affected regions from the summer fires in Turkey. In the implementation of the seven algorithms used in this study, the same data sets, including 18 variables (6 spectral indexes, 6 mean values of spectral bands, and 6 standard deviations of spectral bands) were used. In order to evaluate the ability of these algorithms to map burned areas, confusion matrices were created, and the statistical indicators were calculated based on these matrices. Also, McNemar's test statistics were used to compare to evaluate the results. The result of the evaluation process indicated that the FT algorithm gives more accurate results than the other tree-based algorithms. These results show that FT can be used as a classifier for burned forest area mapping. Future studies will be based on the comparison of these algorithms more complex datasets and different satellite images.

## Literature and references:

- Adnan, M. N., Islam, M. Z. (2017). Forest PA: Constructing a decision forest by penalizing attributes used in previous trees. *Expert Systems with Applications*, 89, 389–403. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.eswa.2017.08.002>
- Akar, Ö. (2017). Mapping land use with using Rotation Forest algorithm from UAV images. *European Journal of Remote Sensing*, 50, 269–279. DOI: <https://doi.org/10.1080/22797254.2017.1319252>
- Al Snousy, M. B., El-Deeb, H. M., Badran, K., Al Khilil, I. A. (2011). Suite of decision tree-based classification algorithms on cancer gene expression data. *Egyptian Informatics Journal*, 12 (2), 73–82. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.eij.2011.04.003>
- Bastarrika, A., Chuvieco, E., Martín, M. P. (2011). Mapping burned areas from Landsat TM/ETM+ data with a two-phase algorithm: Balancing omission and commission errors. *Remote Sensing of Environment*, 115 (4), 1003–1012. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.rse.2010.12.005>
- Baatz, M., Schape, A. (2000) Multiresolution Segmentation: An Optimization Approach for High Quality Multi-Scale Image Segmentation. In: Strobl, J., Blaschke, T. and Griesbner, G., (Eds.), *Angewandte Geographische Informations-Verarbeitung*, XII, Wichmann Verlag, Karlsruhe, Germany, 12–23.
- Belgiu, M., Drăguț, L. (2016). Random forest in remote sensing: A review of applications and future directions. *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, 114, 24–31. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.isprsjprs.2016.01.011>
- Benz, U. C., Hofmann, P., Willhauck, G., Lingenfelder, I., Heynen, M. (2004). Multi-resolution, object-oriented fuzzy analysis of remote sensing data for GIS-ready information. *ISPRS Journal of photogrammetry and remote sensing*, 58 (3–4), 239–258. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.isprsjprs.2003.10.002>
- Boros, E., Hammer, P. L., Ibaraki, T., Kogan, A., Mayoraz, E., Muchnik, I. (2000). An implementation of logical analysis of data, in *IEEE Transactions on Knowledge and Data Engineering*, 12 (2), 292–306, March–April 2000. DOI: <https://doi.org/10.1109/69.842268>
- Breiman, L. (1996). Bagging predictors. *Machine Learning*, 24 (2), 123–140. DOI: <https://doi.org/10.1007/bf00058655>
- Breiman, L. (2001). Random forests. *Machine learning*, 45 (1), 5–32. DOI: <https://doi.org/10.1023/A:1010933404324>
- Chen, G., He, Y., De Santis, A., Li, G., Cobb, R., Meentemeyer, R. K. (2017). Assessing the impact of emerging forest disease on wildfire using Landsat and KOMPSAT-2 data. *Remote sensing of environment*, 195, 218–229. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.rse.2017.04.005>
- Chuvieco, E., Martín, M. P., Palacios, A. (2002). Assessment of different spectral indices in the red–near–infrared spectral domain for burned land discrimination. *International Journal of Remote Sensing*, 23 (23), 5103–5110. DOI: <https://doi.org/10.1080/01431160210153129>
- Çömert, R., Matci, K. D., Avdan, U. (2019). Object Based Burned Area Mapping with Random Forest Algorithm. *International Journal of Engineering and Geosciences*, 4 (2), 78–87. DOI: <https://doi.org/10.26833/ijeg.455595>
- Dragozi, E., Gitas, I., Stavrakoudis, D., Theocharis, J. (2014). Burned area mapping using support vector machines and the FuzCoC feature selection method on VHR IKONOS imagery. *Remote Sensing*, 6 (12), 12005–12036. DOI: <https://doi.org/10.3390/rs61212005>
- Du, P., Samat, A., Waske, B., Liu, S., Li, Z. (2015). Random forest and rotation forest for fully polarized SAR image classification using polarimetric and spatial features. *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, 105, 38–53. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.isprsjprs.2015.03.002>
- Duran, C. (2014). Mersin ilindeki orman yangınlarının başlangıç noktalarına göre mekânsal analizi (2001–2013). *Ormançılık Araştırma Dergisi*, 1 (1 A), 38–49. DOI: <https://doi.org/10.17568/oar.87328>
- Epting, J., Verbyla, D., Sorbel, B. (2005). Evaluation of remotely sensed indices for assessing burn severity in interior Alaska using Landsat TM and ETM+. *Remote Sensing of Environment*, 96 (3–4), 328–339. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.rse.2005.03.002>
- Escuin, S., Navarro, R., Fernandez, P. (2008). Fire severity assessment by using NBR (Normalized Burn Ratio) and NDVI (Normalized Difference Vegetation Index) derived from LANDSAT TM/ETM images. *International Journal of Remote Sensing*, 29(4), 1053–1073. DOI: <https://doi.org/10.1080/01431160701281072>
- Esetlili, M. T., Balçık, F. B., Sanli, F. B., Kalkan, K., Ustuner, M., Goksel, C., Gaizoglu, C., Kurucu, Y. (2018). Comparison of Object and Pixel-Based Classifications for Mapping Crops Using Rapideye Imagery: A Case Study of Menemen Plain, Turkey.

- International Journal of Environment and Geoinformatics, 5 (2), 231–243. DOI: <https://doi.org/10.30897/ijegeo.442002>
- Estuar, M. R. J., Victorino, J. N., Coronel, A., Tiausas, F., Señires, C. V. (2017). Comparative analysis of tree classification models for detecting fusarium oxysporum f. sp cubense (TR4) based on multi soil sensor parameters. In Fifth International Conference on Remote Sensing and Geoinformation of the Environment (RSCy2017) (Vol. 10444, p. 1044404). International Society for Optics and Photonics. DOI: <https://doi.org/10.1117/12.2279126>
- Filippidis, E. I., Mitsopoulos, I. D. (2004). Mapping forest fire risk zones based on historical fire data in Mount Olympus, Greece, using geographical information systems. WIT Transactions on Ecology and the Environment, 77.
- Flannigan, M. D., Haar, T. V. (1986). Forest fire monitoring using NOAA satellite AVHRR. Canadian Journal of Forest Research, 16 (5), 975–982. DOI: <https://doi.org/10.1139/x86-171>
- Fraser, R. H., Li, Z., Gihlar, J. (2000). Hotspot and NDVI differencing synergy (HANDS): A new technique for burned area mapping over boreal forest. Remote Sensing of Environment, 74 (3), 362–376. DOI: [https://doi.org/10.1016/S0034-4257\(00\)00078-X](https://doi.org/10.1016/S0034-4257(00)00078-X)
- Freund, Y., Mason, L. (1999). The alternating decision tree learning algorithm. ICML, 99, 124–133.
- Gama, J. (2004). Functional trees. Machine learning, 55 (3), 219–250. DOI: <https://doi.org/10.1023/B:MACH.0000027782.67192.13>
- Ghosh, A., Joshi, P. K. (2014). A comparison of selected classification algorithms for mapping bamboo patches in lower Gangetic plains using very high resolution WorldView 2 imagery. International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation, 26, 298–311. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jag.2013.08.011>
- Gonçalves, A. C., Sousa, A. M. (2017). The fire in the Mediterranean region: a case study of forest fires in Portugal. Mediterranean identities: environment, society, culture, 305–335. DOI: <https://doi.org/10.5772/intechopen.69410>
- Huete, A. R. (1988). A soil-adjusted vegetation index (SAVI). Remote Sensing of Environment, 25 (3), 295–309. DOI: [https://doi.org/10.1016/0034-4257\(88\)90106-X](https://doi.org/10.1016/0034-4257(88)90106-X)
- Key, C.H., Benson, N.C. (2006) Landscape assessment: Remote sensing of severity, the Normalized Burn Ratio. In FIREMON: Fire Effects Monitoring and Inventory System; USDA Forest Service, Rocky Mountain Research Station, Fort Collins: Denver, CO, USA, pp. 305–325.
- Kavzoglu, T., Colkesen, I., Yomralioglu, T. (2015). Object-based classification with rotation forest ensemble learning algorithm using very-high-resolution WorldView-2 image. Remote Sensing Letters, 6 (11), 834–843. DOI: <https://doi.org/10.1080/2150704X.2015.1084550>
- Kavzoglu, T., Erdemir, M. Y. (2016). A Hierarchical Scale Setting Strategy for Improved Segmentation Performance Using Very High Resolution Images, International Symposium on Spatial Accuracy Assessment in Natural Resources and Environmental Sciences, 5–8 July, Montpellier, France. Spatial Accuracy, 195–201.
- Küçükosmanoğlu, A. (1990). Kızılçam-orman yangınları ilişkisi. İstanbul Üniversitesi Orman Fakültesi Dergisi, 40 (4), 67–84.
- Lary, D. J., Alavi, A. H., Gandomi, A. H., Walker, A. L. (2016). Machine learning in geosciences and remote sensing. Geoscience Frontiers, 7 (1), 429–442. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.gsf.2015.07.003>
- Loboda, T., O'neal, K. J., Csiszar, I. (2007). Regionally adaptable dNBR-based algorithm for burned area mapping from MODIS data. Remote Sensing of Environment, 109 (4), 429–442. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.rse.2007.01.017>
- McNemar, Q. (1947). Note on the sampling error of the difference between correlated proportions or percentages. Psychometrika, 12 (2), 153–157. DOI: <https://doi.org/10.1007/bf02295996>
- Meng, R., Wu, J., Schwager, K. L., Zhao, F., Dennison, P. E., Cook, B. D., Brewster, K., Green, T. M., Serbin, S. P. (2017). Using high spatial resolution satellite imagery to map forest burn severity across spatial scales in a Pine Barrens ecosystem. Remote Sensing of Environment, 191, 95–109. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.rse.2017.01.016>
- Mitrakis, N. E., Mallinis, G., Koutsias, N., Theocharis, J. B. (2012). Burned area mapping in Mediterranean environment using medium-resolution multi-spectral data and a neuro-fuzzy classifier. International Journal of Image and Data Fusion, 3 (4), 299–318. DOI: <https://doi.org/10.1080/19479832.2011.635604>
- Nithya, R., Santhi, B. (2015). Decision tree classifiers for mass classification. International Journal of Signal and Imaging Systems Engineering, 8 (1–2), 39–45. DOI: <https://doi.org/10.1504/ijssie.2015.067068>
- Pal, M., Mather, P.M. (2001). Decision tree based classification of remotely sensed data. In 22nd Asian conference on Remote Sensing (Vol. 5, p. 9). Asian Association on Remote Sensing Singapore.
- Palandjian, D., Gitas, I. Z., Wright, R. (2009). Burned area mapping and post-fire impact assessment in the Kassandra peninsula (Greece) using Landsat TM and Quickbird data. Geocarto International, 24 (3), 193–205. DOI: <https://doi.org/10.1080/10106040802488542>
- Patil, T. R., S. Sherekar (2013). Performance analysis of Naive Bayes and J48 classification algorithm for data classification. International journal of computer science and applications, 6 (2), 256–261.
- Pereira, J. M. (1999). A comparative evaluation of NOAA/AVHRR vegetation indexes for burned surface detection and mapping. IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing, 37 (1), 217–226. DOI: <https://doi.org/10.1109/36.739156>
- Pereira, A., Pereira, J., Libonati, R., Oom, D., Setzer, A., Morelli, F., Machado-Silva, F., de Carvalho, L. (2017). Burned area mapping in the Brazilian savanna using a one-class support vector machine trained by active fires. Remote Sensing, 9 (11), 1161. DOI: <https://doi.org/10.3390/rs9111161>
- Petropoulos, G. P., Kontoes, C., Keramitsoglou, I. (2011). Burnt area delineation from a uni-temporal perspective based on Landsat TM imagery classification using support vector machines. International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation, 13 (1), 70–80. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jag.2010.06.008>
- Petropoulos, G. P., Vadrevu, K. P., Xanthopoulos, G., Karantounias, G., Scholze, M. (2010). A comparison of spectral angle mapper and artificial neural network classifiers combined with Landsat TM imagery analysis for obtaining burnt area mapping. Sensors, 10 (3), 1967–1985. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jag.2010.06.008>
- Pham, B.T., Prakash, I., Dou, J., Singh, S.K., Trinh, P.T., Tran, H.T., Le, T.M., Van Phong, T., Khoi, D.K., Shirzadi, A. (2019). A novel hybrid approach of landslide susceptibility modelling using rotation forest ensemble and different base classifiers. Geocarto International, 1–25. DOI: <https://doi.org/10.1080/10106049.2018.1559885>
- Rahmani, S., Strait, M., Merkurjev, D., Moeller, M., Wittman, T. (2010). An adaptive

- IHS pan-sharpening method. *IEEE Geoscience and Remote Sensing Letters*, 7 (4), 746–750. DOI: <https://doi.org/10.1109/lgrs.2010.2046715>
- Ramo, R., Chuvieco, E. (2017). Developing a random forest algorithm for MODIS global burned area classification. *Remote Sensing*, 9 (11), 1193. DOI: <https://doi.org/10.3390/rs9111193>
- Ramo, R., García, M., Rodríguez, D., Chuvieco, E. (2018). A data mining approach for global burned area mapping. *International journal of applied earth observation and geoinformation*, 73, 39–51. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jag.2018.05.027>
- Rodriguez, J. J., Kuncheva, L. I., Alonso, C. J. (2006). Rotation forest: A new classifier ensemble method. *IEEE transactions on pattern analysis and machine intelligence*, 28 (10), 1619–1630. DOI: <https://doi.org/10.1109/tpami.2006.211>
- San-Miguel-Ayanz, J., Durrant, T., Boca, R., Libertá, G., Branco, A., De Rigo, D., Ferrari, D., Maianti, P., Artes Vivancos, T., Pfeiffer, H., Löffler, P., Nuijten, D., Leray, T., Jacome Felix Oom, D. (2019). Forest Fires in Europe, Middle East and North Africa 2018, EUR 29856 EN, Publications Office of the European Union, Luxembourg. DOI: <https://doi.org/10.2760/1128>
- Schepers, L., Haest, B., Veraverbeke, S., Spanhove, T., Vanden Borre, J., Goossens, R. (2014). Burned area detection and burn severity assessment of a heathland fire in Belgium using airborne imaging spectroscopy (APEX). *Remote Sensing*, 6 (3), 1803–1826. DOI: <https://doi.org/10.3390/rs6031803>
- Sertel, E., Alganci, U. (2016). Comparison of pixel and object-based classification for burned area mapping using SPOT-6 images. *Geomatics, Natural Hazards and Risk*, 7 (4), 1198–1206. DOI: <https://doi.org/10.1080/19475705.2015.1050608>
- Sharma, R., Ghosh, A., Joshi, P. K. (2013). Decision tree approach for classification of remotely sensed satellite data using open source support. *Journal of Earth System Science*, 122 (5), 1237–1247. DOI: <https://doi.org/10.1007/s12040-013-0339-2>
- Sokolova, M., Lalapale, G. (2009). A systematic analysis of performance measures for classification tasks. *Information processing & management*, 45 (4), 427–437. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ipm.2009.03.002>
- Sothe, C., de Almeida, C. M., Schimalski, M. B., Liesenberg, V. (2018). Integration of Worldview-2 and Lidar Data to MAP a Subtropical Forest Area: Comparison of Machine Learning Algorithms. In *IGARSS 2018–2018 IEEE International Geoscience and Remote Sensing Symposium* (pp. 6207–6210). IEEE. DOI: <https://doi.org/10.1109/igarss.2018.8517941>
- Stumpf, A., Kerle, N. (2011). Object-oriented mapping of landslides using Random Forests. *Remote sensing of environment*, 115 (10), 2564–2577. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.rse.2011.05.013>
- Tan, P. J., Dowe, D. L., Dix, T. I. (2007). Building classification models from microarray data with tree-based classification algorithms. In *Australasian Joint Conference on Artificial Intelligence* (pp. 589–598): Springer. DOI: [https://doi.org/10.1007/978-3-540-76928-6\\_60](https://doi.org/10.1007/978-3-540-76928-6_60)
- Tucker, C. J. (1979). Red and photographic infrared linear combinations for monitoring vegetation. *Remote sensing of Environment*, 8 (2), 127–150. DOI: [https://doi.org/10.1016/0034-4257\(79\)90013-0](https://doi.org/10.1016/0034-4257(79)90013-0)
- USGS, Landsat Surface Reflectance–Derived Spectral Indices, Landsat Normalized Burn Ratio 2. <https://www.usgs.gov/land-resources/nli/landsat/landsat-normalized-burn-ratio-2>, accessed on 9. 7. 2020.
- Vallejo, V. R., Arianoutsou, M., Moreira, F., De las Heras J. (Eds) (2012). Fire ecology and post-fire restoration approaches in Southern European forest types. In *Post-fire management and restoration of southern European forests* (pp. 93–119). Springer, Dordrecht. DOI: [https://doi.org/10.1007/978-94-007-2208-8\\_5](https://doi.org/10.1007/978-94-007-2208-8_5)
- Vieira, M. A., Formaggio, A. R., Rennó, C. D., Atzberger, C., Aguiar, D. A., Mello, M. P. (2012). Object based image analysis and data mining applied to a remotely sensed Landsat time-series to map sugarcane over large areas. *Remote Sensing of Environment*, 123, 553–562. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.rse.2012.04.011>
- Vilén, T., Fernandes, P. M. (2011). Forest fires in Mediterranean countries: CO2 emissions and mitigation possibilities through prescribed burning. *Environmental Management*, 48 (3), 558–567. DOI: <https://doi.org/10.1007/s00267-011-9681-9>
- Zhang, H., Wang, T., Liu, M., Jia, M., Lin, H., Chu, L., Devlin, A. T. (2018). Potential of combining optical and dual polarimetric SAR data for improving mangrove species discrimination using rotation forest. *Remote Sensing*, 10, 467. DOI: <https://doi.org/10.3390/rs10030467>



Kucuk Matci D., Comert R., Avdan U. (2020). Comparison of tree-based classification algorithms in mapping burned forest areas. *Geodetski vestnik*, 64 (3), 348–360.  
DOI: <https://doi.org/10.15292/geodetski-vestnik.2020.03.348-360>

### Dilek Kucuk Matci

*Eskisehir Technical University, Institute of Space and Earth Sciences  
Eskisehir, Turkey  
e-mail: dkmatici@anadolu.edu.tr*

### Ugur Avdan

*Eskisehir Technical University, Institute of Space and Earth Sciences  
Eskisehir, Turkey  
e-mail: uavdan@eskisehir.edu.tr*

### Asst. Prof. Resul Comert

*Gumushane University, Faculty of Engineering and Nature Science  
Gumushane, Turkey  
e-mail: rcomert@gumushane.edu.tr*

# ANALIZA TURISTIČNIH INTERAKCIJ V PROSTORU V ČEZMEJNI REGIJI LITVE IN POLJSKE NA PODLAGI GRAVITACIJSKEGA MODELA

# ANALYSIS OF SPATIAL INTERACTIONS OF TOURISM IN LITHUANIAN-POLISH CROSS- BORDER REGION USING GRAVITY MODELS

*Marius Aleknavičius, Audrius Aleknavičius, Krystyna Kurowska*

UDK: 339.92/.94  
Klasifikacija prispevka po COBISS.SI: 1.01  
Prispelo: 19. 6. 2020  
Sprejeto: 5. 9. 2020

DOI: 10.15292/geodetski-vestnik.2020.03.361-375  
SCIENTIFIC ARTICLE  
Received: 19. 6. 2020  
Accepted: 5. 9. 2020

## IZVLEČEK

V prispevku predstavljamo rezultate analize turističnih dejavnosti v okrožjih in občinah čezmejne regije ob meji med Litvo in Poljsko, in sicer z vidika čezmejnega povezovanja. Cilj raziskave je bil izvesti analizo prostorskih interakcij turističnih tokov v navedeni regiji ter oceniti stopnjo čezmejne povezanosti na območju. Izbrana metodologija vključuje primerjalno analizo statističnih podatkov ter razvoj in analizo rezultatov dveh gravitacijskih modelov, pri čemer eden temelji na oceni turističnih tokov, kjer je predvidena prenočitev, drugi pa vključuje določitev mej lokalnih trgov, opredeljenih z glavnimi turističnimi središči, v obravnavani regiji. Rezultati analize so pokazali asimetrijo razvoja turizma v obmejnih regijah dveh držav, vendar je določitev mej območij lokalnih turističnih trgov pokazala na stalen proces povezovanja v tej čezmejni regiji. Izkazalo pa se je, da predlagan gravitacijska funkcija, ki temelji na oddaljenosti, ni najbolj primerna za modeliranje turističnih tokov iz večjih mest do turističnih središč zaradi pomanjkljivosti uporabljenih statističnih podatkov, kjer ni mogoče ločiti med enodnevni obiski in tistimi s prenočitvijo.

## ABSTRACT

In the context of cross-border integration, this article analyses the tourism market in counties and municipalities in the Lithuanian-Polish cross-border region. The aim of the research has been to perform analysis of spatial interaction of tourist flows in this region and to evaluate the integration progress in that field. The methods chosen for this purpose comprised a comparative analysis of statistical data, and construction and analyses of two types of gravity models, one for estimation of the potential overnight tourist flows, and the other for the determination of market boundaries of the main centres of tourist attraction in the investigated region. The analysis revealed the asymmetry in tourism development in border regions of those two countries, but the determination of tourism market boundaries testified the ongoing process of integration of the tourism market in this cross-border region. However, using gravitational distance decay function for potential tourists flows modelling from the bigger cities to the resorts appeared to be inappropriate in this research due to the contradiction to the statistical data about the number of overnight tourists and the disability to separate the overnight tourists and one-day visitors in the model.

## KLJUČNE BESEDE

čezmejno povezovanje, gravitacijski model, skupni trg

## KEY WORDS

cross-border integration, gravity model, market sharing

## 1 INTRODUCTION

Travel and tourism activities have been playing a certain role in each countries economy for a number of years. Although it may vary along different countries and years, the travel and tourism as well as the related expenditures of this business, governmental spending and induced consumption of people employed there made up as much as 9.8% of GDP in the whole world economy in 2015, according to the World Travel Tourism Council data (Travel..., 2016).

According to Cárdenas-García et al. (2013), many scholars agree that tourism stimulates economic growth, although some scholars noted, that in some countries or regions tourism had a negative impact on the economic development, since it had lead to the loss of control over local resources and, consequentially, to a decrease of profits and vulnerability of tourism revenues. The study of data of 144 countries over 20 years have proved, that the economic growth experienced in some countries as a result of the expansion of tourism activity has raised the level of economic development of those countries, especially in more developed countries.

From the point of view of the national economy, scholars distinguish between domestic tourism within a country, and international tourism, where tourism services are provided with either for incoming foreign tourists and treated as an export (inbound tourism), or for local people going abroad and treated as an import (outbound tourism). Globally, in 2015 foreign visitors' spending made up as much as 27.7% or nearly one-third of GDP portion directly generated by travel and tourism (Travel..., 2016). This figure, calculated out of data of 184 countries, indicates the importance for national economies of people travelling and spending for business and leisure purposes abroad, which, on the other hand, makes it a subject of interest for national and regional development planning in many countries.

One possible way to increase export of tourism services is to ease access to tourism resources for foreign tourists in border regions or, in case of countries of the European Union (EU), to take advantage from benefits associated to the free movement of people and various programmes aimed for cross-border cooperation between local municipalities of neighbouring countries.

De Sousa (2013) in his article describes how the basic idea of European integration and globalisation has lead to the incentives to support and promote cross-border cooperation at several different levels and to the creation of INTERREG in the 1980s – a special financial instrument for stimulating interregional cooperation in the EU. Need for better administration of various financial programmes and projects lead to the emergence of Euro-regions and, later on, to the emergence of its standardised alternative for territorial cooperation arrangement, called the European Grouping of Territorial Co-operation.

Since the EU has undergone several phases of its expansion, the level of integration, as well as the extent of interregional cooperation, differed along the countries and years. The extent of various cross-border organisations or Euro-regions in Central and Eastern Europe countries prior to the EU accession, according to Turnock (2002), amounted to 30, covering the whole perimeter of such countries as Poland, Slovakia, the Czech Republic, Hungary, Slovenia, Croatia and western or northern borders of the rest of the countries in the region. Before the commencement of cooperation programs, i.e. in soviet times, the cross-border contacts among most of these countries were close to a minimum. After the contacts were established and the cross-border cooperation started, it involved such activities as production (by investing in manufacturing, agriculture or state-owned objects), commerce, transport and tourism (often

tourism involved shopping or selling various merchandise in the marketplace), environment protection (Turnock, 2002).

Nevertheless, issues related to integration and cross-border cooperation are still of great relevance in countries that joined the EU much earlier than the Central and Eastern Europe countries. Perkmann (2003) reckons more than 70 cross-border regions (CBR) in the EU, often overlapping. The interregional or cross-border cooperation there might take different forms. By geographical scope, there can be CBRs as contiguous territories or just interregional cooperation. Another dimension for classification is the scale of activities, so there can be Micro-CBRs (EUREGIO) and Macro-CBRs as contiguous territories, and interregional or inter-urban cooperation at a smaller scale and some peak associations at a larger scale. For more precise classification there can be used more characteristics, such as the cooperation intensity, or administration autonomy level which may be high or low, and the type of actors, i.e. whether they are local authorities or regional. Hence, it is possible to distinguish so-called integrated micro-CBRs with high cooperation intensity, and the emerging micro-CBRs with low cooperation intensity (Perkmann, 2003).

In respect of cross-border cooperation, Löfgren (2008) draws attention to the changes of country borders and changes of the ethnicity of the population that happens in history all the time and talks about cultural borders that do not necessarily coincide with the political boundaries of the state (which in case of Sweden are delineated by natural borders). Hence, talking about cross-border cooperation and performing case studies with three different situations in Sweden, he tries to find and illustrate similarities in their cultural processes (often due to their common past), but also differences that have to do with their history, economic profile or social and political organisation.

In all three studied cases, the analysed cross-border regions were once a part of the same state. The nowadays border lies along with the natural water bodies, constraining the interregional migration. Despite the bridges built to ease the access, the cross-border integration of those regions proceeded in a different way and with different success over time. The Löfgren's study presents a detailed description of each case, paying great attention to the social aspects of cross-border contacts, nature and direction of those contacts, emergence of new social behaviour or social groups that extend their live or activity over the cross-border region. Like in many other countries, a common phenomenon for Swedish border regions were foreign shoppers looking for bargains and goods on the other side of the border, and leisure tourists, but differences in housing prices, rate of unemployment or pension system also induced many people to commute across the border or to settle abroad (even if not permanently). Business contacts have lead to the emergence of shared markets for goods or services and industrial integration (Löfgren, 2008).

Another study of Swedish borderlands which focused on Swedish-Finish border territory has shown that the common development of tourism in a cross-border region could be a good instrument for inducement of cross-border integration by raising the knowledge and self-identification with that region on both sides of the border. Although the impact of this cooperation on tourism flows and revenues is unclear, it played its role in transforming national borderlands that once served as a barrier for tourist movement, into tourism landscapes or places for a tourist attraction (Prokkola, 2007).

The situation in the cross-border region at the Lithuanian-Polish border resembles that in the Nordic countries from the historical point of view, since this borderline and the composition of the population, its national and ethnic identity have also experienced many changes in the past.



Poland takes part in many cross-border cooperation initiatives, various aspects of which attracted the attention of many scholars. For example, Perkmann (2007) in his study of organisational aspects of cooperation in different Euroregions, as one of the study cases analyses the cooperation between Poland and Germany in the framework of Euroregion "Pro Europa Viadrina". Kisielowska-Lipman (2002) analyses from the historical perspective the present inter-ethnic relations at the Eastern borderlands of Poland inhabited by ethnic minorities of Lithuanians, Belarusians, Ukrainians and the others. Kuemmerle et al. (2008) focus their research on problems of farmland abandonment in the border triangle of Poland, Slovakia and Ukraine. Walancik and Kurowska-Pysz (2015) focus their analysis on the cross-border cooperation of local governments concerning safety issues in common Polish-Slovak projects.

Economic, operational and sociocultural aspects of early cross-border integration in Polish-German border area and some peculiarities of 'bazaar economics' of those days in Poland close to the other bordering countries and in bigger cities were analysed by Krätke (1998). In more recent studies, Dolzblasz (2015) draws attention to the issues of symmetry in putting efforts for the integration of customers and businesses from the other side of the border. After analysing of two twin towns located on both sides of the Polish-German and the Polish-Czech borders, she discovered a significant asymmetry for the former and relative symmetry for the latter. A study of integration processes at the Polish-Czech border region conducted by Kurowska-Pysz (2016) reveals the uneven development of integration in social and economic spheres. While effects of cross-border cooperation in the study region are clearly visible in the social sphere, primarily in the fields of culture, education sports and tourism, this cooperation developed to a much lesser extent in the development of cross-border entrepreneurship, i.e. in the economic sphere, which is the problem that she tries to solve in her paper.

Bar-Kořelis and Wiskulski (2012) investigated the cross-border shopping tourism in Poland and noticed that the most active shopping tourists at that time came from outside the European Union, namely from Russia, Belarus, and Ukraine. In that context, the study was focused on the shopping tourists who came from the Kaliningrad Oblast, the Russian exclave between Lithuania and Poland, to the urban area of Tri-City consisting of Gdansk and Gdynia cities and the Sopot resort in Northern Poland. Anisiewicz and Palmowski (2014) carried out a detailed analysis of cross-border tourism between Poland and the Kaliningrad Oblast of Russia in territory favoured by small border traffic agreement between those two countries. They noticed a positive effect of the agreement for the number of shopping tourists in both countries and for the number of leisure tourists in Poland, although this agreement failed in trying to attract Polish tourists to the most attractive tourist locations and resorts in Kaliningrad Oblast.

However, among all those numerous studies, studies in respect of the Lithuanian-Polish cross-border region are rather scarce, which makes it a good subject for the research. A particular interest in the light of cross-border integration and experience of the Nordic countries represent issues concerning tourism market sharing and impacts on tourism development in this cross-border region since it experiences large flows of international traffic and people moving in both directions.

Many theoretical models can illustrate tourism development in a region from an economic point of view (Streimikienė and Bilan, 2015). However, the land use and transportation models give a better understanding of the spatial dimension in respect of those economic driving forces of tourism. Usually,

they deal with a number of tourists or visits, or a number of second homes (houses for weekend, summerhouses, etc.) and other facilities for an overnight stay in a spatial context (Hall, 2005, 2006), but some of them deal with individual choice of a tourist and model tourist behaviour, i.e. their movement patterns or trip preferences (Lew and McKercher, 2006; Flognfeldt, 1999).

The earliest form of models of spatial interaction between various zones is the gravity model (Iacono et al., 2008; Hall, 2012). Such models, although in different mathematical form, were also applied in econometrics for modelling of various international trade flows between different countries. In addition to the distance, they could involve various economic and non-economic indicators. Keum (2010) states that the gravity model is indispensable for analysing the flows of spatial interactions which could involve both flows of goods, and flows of humans. Many researchers (Petit and Seetaram, 2019; Porto et al., 2018; Marti and Puertas, 2017; Kaplan and Aktas, 2016; Santeramo and Morelli, 2016; Malaj and Kapiki, 2016; Keum, 2010, etc.) were using it for modelling the international tourist flows between countries, generally using national GDP as a measure of each country's economic size or mass, and the geographical distance as the distance, and also including some other variables following their hypotheses. While most of them carried out their analyses from the perspective of one country or in respect of the bilateral exchange of tourists between single countries, the others, like Porto et al. (2018), were also modelling tourist flows between a block of several countries and the rest of the world.

Hence, the gravity model could be the appropriate model to start with for the analysis of spatial interaction of tourism in the Lithuanian-Polish cross-border region, too. However, the use of the econometric model would be inappropriate in this case due to the absence of statistical data about inter-regional and intra-regional tourist flows within a country and in the study region.

The main objective of this paper is to perform analysis of spatial interaction of tourist flows in the Lithuanian-Polish cross-border region and to evaluate the integration progress in that field. It embraces the following tasks:

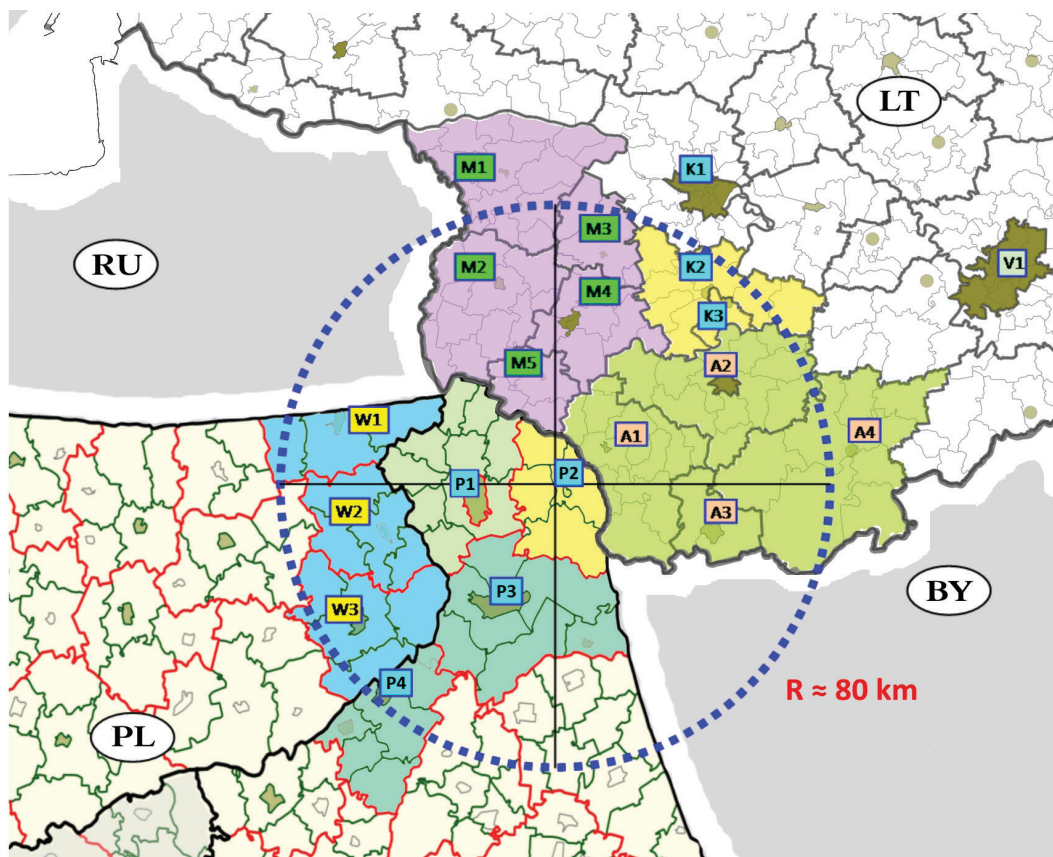
1. To verify the suitability of gravity models for tourist flows modelling in the selected cross-border region using the aggregated data from other researches or statistics;
2. To estimate a possible asymmetry in tourism development across the Lithuanian-Polish border;
3. To evaluate the integration of tourism in the cross-border region, by looking for evidence of market sharing using gravity models.

## 2 METHODOLOGY OF RESEARCH AND MATERIALS

This article represents a comparative analysis of domestic and foreign tourist flows data in Lithuanian-Polish cross-border region in relation to their demographic and geographic characteristics.

The analysis makes use of regional statistics data of 2015 in Warmian-Masurian and Podlaskie voivodeships in Poland and in Marijampolės, Alytaus and Kauno counties ('apskritis') in Lithuania. Although various cross-border cooperation programmes involved up to five counties in Lithuania (except for Vilnius city municipality) and 3–4 subregions of variable composition in Poland, the analysis embraced only those municipalities and counties that were in closer proximity to the state border. On the Polish side, these were the counties of Gołdap, Olecko, Ełk, Suwałki (rural), Suwałki city, Sejny, Augustów, and Grajewo. On the Lithuanian side, these were the municipalities of Šakiai, Vilkaviškis, Kazlų

Rūda, Marijampolė, Kalvarija, Prienai, Birštonas, Lazdijai, Alytus (rural), Alytus city, Druskininkai, and Varėna. The geographical location of those territorial units and their arbitrary notation is shown on the map (see Fig.1).



#### Selected counties and municipalities:

##### In Poland

- counties in Warmian-Masurian voivodeship:  
W1 – Gołdap, W2 – Olecko, W3 – Ełk
- counties in Podlaskie voivodeship:  
P1 – Suwałki and Suwałki city (two counties),  
P2 – Sejny, P3 – Augustów, P4 – Grajewo

##### In Lithuania

- municipalities in Marijampolė county:  
M1 – Šakiai, M2 – Vilkaviškis, M3 – Kazlų Rūda,  
M4 – Marijampolė, M5 – Kalvarija
- municipalities in Kaunas county:  
K1 – Kaunas city, K2 – Prienai, K3 – Birštonas
- municipalities in Alytus county:  
A1 – Lazdijai, A2 – Alytus, A3 – Druskininkai,  
A4 – Varėna
- municipalities in Vilnius county:  
V1 – Vilnius city

Figure 1: Geographic situation of territorial units used in the analysis.

In this study region, both Polish counties and Lithuanian municipalities usually have a smaller town as their administrative centre which can not be characterised as a place of big tourist attraction. However, some of these centres represent larger cities, namely, Suwałki (P1 on the map) and

Elk (W3) in Poland, and Alytus (A2) and Marijampolė (M4) in Lithuania. Such cities could be attractive for business travellers or for transiting tourists, but not that much for leisure tourists. However, they themselves could be treated as major sources of visitors for the tourism services providers. Among those administrative centres, there are also the resorts, namely, Augustów (P3), with its size close to a city, and Goldap (W1) in Poland, and Druskininkai (A3) and Birštonas (K3) in Lithuania. They are the places of tourist attraction whose influence extends even beyond the study region.

Overall, the study region is exposed to transiting road traffic of two types, one passing through the Lithuanian-Polish border on two main roads to the Northern part of the EU, not crossing its outer borders, and the other passing through over different routes through Poland or Lithuania from Kaliningrad Oblast of Russia to Belarus. This implies large flows of international travellers, a possible source of tourists, moving in both directions there.

Most of the investigated counties (in Poland) and municipalities (in Lithuania) lie within a circle with an approximate diameter of ~160 km and have a noticeable percentage of Lithuanian or Polish tourists among their foreign visitors. However, statistical data provides accurate numbers only for those visitors who have stayed over-night, but the number of one-day trip visitors remains unclear. In the context of cross-border integration, this might be a serious limitation of the analysis, since it prohibits the comparative analysis of one-day cross-border visitors' and local one-day visitors' flow, which otherwise would have been a possible indicator of the degree of integration. Another limitation is the inconsistency of data originating from different sources. For example, figures provided by EUROSTAT might imply other components than those published by national statistics offices at the national or regional level.

The main indicators used for the analysis and comparisons along different counties (in Poland) or municipalities (in Lithuania) were as follows: density of population, the density of tourist accommodations, the density of overnight tourists (in the area and per 1,000 inhabitants), number of domestic tourists, the composition of foreign visitors by the country of origin, and travelling time and distance between the major cities or resorts estimated by Google maps interactive services.

Analysis embraced the investigation of spatial interaction between the major cities and resorts that have an attraction power for local, inland and foreign visitors. As Hall (2012) states, one of the most common ways to express the decay of various spatial flows in the distance is the Pareto function, which takes the form:

$$F = a \cdot D^{-b}, \quad (1)$$

where  $F$  denotes the flow,  $D$  is the distance, and  $a$  and  $b$  are empirical constants. A special case of this model at  $b=2$  represents the gravitational concept of spatial interaction model:

$$F = a \cdot \frac{1}{D^2}. \quad (2)$$

This article also employs the gravitational form of distance-decay function for modelling and analysis of two possible types of spatial interaction concerning tourism in the investigated region. The first modelling function provides a basic distance-adjusted indicator of possible resorts' visitors flow from the cities

or major towns:

$$F = a \cdot \frac{P}{D^2}, \quad (3)$$

where  $P$  denotes the number of inhabitants in cities or major towns which are close enough to resorts for exploiting their recreational assets, and  $a=1$  for the simplicity reasons. Although the number of people returned by the function does not represent the actual number of visitors from each particular city, it is applicable for the comparison of different, and presumably competing among themselves, resorts, and for the analysis of the spatial preferences of their potential visitors.

The second function represents the results of competition between two competing places of local tourist attraction, i.e. resorts or bigger cities, by estimating the distance at which their target market boundaries meet. Like in Reilly's law of retail gravitation (Reilly, 1931) and in Converse's Breaking-Point model (Converse, 1949), this estimation makes use of the gravitational form of interaction between the number of visitors and the distance or travelling time, except for it considers only the customers, but not the whole population. Directly at the market boundary, the following equality should hold:

$$\frac{V_1}{D_1^2} = \frac{V_2}{D_2^2}, \quad (4)$$

where  $V_1$  and  $V_2$  denote the number of tourists in two competing places, and  $D_1$  and  $D_2$  represent the distance (or time) from the corresponding place to the market boundary, thus the total distance between those two places is  $D_1 + D_2$ . This representation implies the presence of a common market area in which two places compete for the same local customers from that area. In other words, this function might indicate the presence of market sharing in the tourism market across the border, which makes it a good indicator of cross-border integration, too.

### 3 RESULTS AND DISCUSSION

The number of people living in the area of research on both sides of the border is of similar range (~17% greater in Polish side), although the area of selected for the research Polish territories is considerably smaller than in Lithuania (see Table 1).

This reveals the first difference in population structure of these territories, namely, that the density of population on the Polish side is a way bigger (~70% higher) than that on the Lithuanian side. Consequently, such a situation should have lead to uneven development of tourism infrastructure intended for local population.

However, looking at the statistics we might notice that the density of tourist accommodation providers in total is pretty much the same if calculated per 100 km<sup>2</sup>, or even bigger on the Lithuanian side if calculated per 1,000 of inhabitants (see Table 2).

Table 1: Population density in selected counties and municipalities in 2015.

| Territorial unit                                         | Population, persons | Area, km <sup>2</sup> | Density, per 1 km <sup>2</sup> | Territorial unit                                        | Population, persons | Area, km <sup>2</sup> | Density, per 1 km <sup>2</sup> |
|----------------------------------------------------------|---------------------|-----------------------|--------------------------------|---------------------------------------------------------|---------------------|-----------------------|--------------------------------|
| <b>Counties in Warmian-Masurian voivodeship (Poland)</b> |                     |                       |                                | <b>Municipalities in Marijampolė county (Lithuania)</b> |                     |                       |                                |
| Goldap                                                   | 27,280              | 772                   | 35.3                           | Šakiai                                                  | 30,007              | 1,454                 | 20.6                           |
| Olecko                                                   | 34,745              | 874                   | 39.8                           | Vilkaviškis                                             | 39,030              | 1,262                 | 30.9                           |
| Elk                                                      | 90,080              | 1,113                 | 80.9                           | Kazlų Rūda                                              | 12,436              | 555                   | 22.4                           |
| <b>Counties in Podlaskie voivodeship (Poland)</b>        |                     |                       |                                | Marijampolė                                             | 57,565              | 755                   | 76.2                           |
| Suwałki                                                  | 35,932              | 1,307                 | 27.5                           | Kalvarija                                               | 11,397              | 440                   | 25.9                           |
| Suwałki city                                             | 69,370              | 66                    | 1,051.1                        | <b>Municipalities in Kaunas county (Lithuania)</b>      |                     |                       |                                |
| Sejny                                                    | 20,606              | 855                   | 24.1                           | Prienai                                                 | 27,929              | 1,032                 | 27.1                           |
| Augustów                                                 | 59,103              | 1,659                 | 35.6                           | Birštonas                                               | 4,351               | 122                   | 35.7                           |
| Grajewo                                                  | 48,357              | 968                   | 50.0                           | <b>Municipalities in Alytus county (Lithuania)</b>      |                     |                       |                                |
| <b>In total</b>                                          | <b>385,473</b>      | <b>7,614</b>          | <b>50.6</b>                    | Alytus                                                  | 26,978              | 1,403                 | 19.2                           |
| <b>In average (without Suwałki city)</b>                 |                     |                       | <b>41.9</b>                    | Alytus city                                             | 55,023              | 40                    | 1,375.6                        |
|                                                          |                     |                       |                                | Druskininkai                                            | 20,564              | 453                   | 45.4                           |
|                                                          |                     |                       |                                | Lazdijai                                                | 20,626              | 1,306                 | 15.8                           |
|                                                          |                     |                       |                                | Varėna                                                  | 23,268              | 2,216                 | 10.5                           |
|                                                          |                     |                       |                                | <b>In total</b>                                         | <b>329,174</b>      | <b>11,038</b>         | <b>29.8</b>                    |
|                                                          |                     |                       |                                | <b>In average (without Alytus city)</b>                 |                     |                       | <b>30.0</b>                    |

Table 2: Density of tourists accommodated in selected counties and municipalities, in 2015.

| Territorial unit                                         | Tourist accommodation providers |                | All tourists, per km <sup>2</sup> | Domestic tourists, per km <sup>2</sup> | Territorial unit                                                  | Tourist accommodation providers* |                | All tourists, per km <sup>2</sup> | Domestic tourists, per km <sup>2</sup> |
|----------------------------------------------------------|---------------------------------|----------------|-----------------------------------|----------------------------------------|-------------------------------------------------------------------|----------------------------------|----------------|-----------------------------------|----------------------------------------|
|                                                          | per 100 km <sup>2</sup>         | per 1,000 inh. |                                   |                                        |                                                                   | per 100 km <sup>2</sup>          | per 1,000 inh. |                                   |                                        |
| <b>Counties in Warmian-Masurian voivodeship (Poland)</b> |                                 |                |                                   |                                        | <b>Municipalities in Marijampolė county (Lithuania)</b>           |                                  |                |                                   |                                        |
| Goldap                                                   | 1.3                             | 0.36           | 19.6                              | 18.7                                   | Šakiai                                                            | 0.2                              | 0.10           | 0.6                               | 0.5                                    |
| Olecko                                                   | 1.0                             | 0.26           | 10.4                              | 10.2                                   | Vilkaviškis                                                       | 0.3                              | 0.10           | 5.8                               | 5.5                                    |
| Elk                                                      | 1.5                             | 0.19           | 21.0                              | 18.6                                   | Kazlų Rūda                                                        | 0.2                              | 0.08           | 0.5                               | 0.5                                    |
| <b>Counties in Podlaskie voivodeship (Poland)</b>        |                                 |                |                                   |                                        | Marijampolė                                                       | 2.4                              | 0.31           | 23.3                              | 11.4                                   |
| Suwałki                                                  | 2.0                             | 0.72           | 14.1                              | 12.1                                   | Kalvarija                                                         | 0.2                              | 0.09           | 0.6                               | 0.6                                    |
| Suwałki city                                             | 15.2                            | 0.14           | 655.6                             | 516.8                                  | <b>Municipalities in Kaunas county (Lithuania)</b>                |                                  |                |                                   |                                        |
| Sejny                                                    | 2.2                             | 0.91           | 12.7                              | 12.2                                   | Prienai                                                           | 1.6                              | 0.57           | 20.4                              | 19.7                                   |
| Augustów                                                 | 2.1                             | 0.59           | 31.6                              | 25.8                                   | Birštonas                                                         | 13.9                             | 3.91           | 478.8                             | 430.9                                  |
| Grajewo                                                  | 1.1                             | 0.22           | 15.0                              | 14.9                                   | <b>Municipalities in Alytus county (Lithuania)</b>                |                                  |                |                                   |                                        |
| <b>In total</b>                                          | <b>1.8</b>                      | <b>0.36</b>    | <b>24.6</b>                       | <b>21.2</b>                            | Alytus                                                            | 0.4                              | 0.19           | 1.0                               | 1.0                                    |
| <b>Without Suwałki city</b>                              | <b>1.7</b>                      | <b>0.40</b>    | <b>19.1</b>                       | <b>16.9</b>                            | Alytus city                                                       | 37.5                             | 0.27           | 225.8                             | 153.7                                  |
|                                                          |                                 |                |                                   |                                        | Druskininkai                                                      | 20.1                             | 4.43           | 654.0                             | 426.2                                  |
|                                                          |                                 |                |                                   |                                        | Lazdijai                                                          | 0.7                              | 0.44           | 3.0                               | 2.8                                    |
|                                                          |                                 |                |                                   |                                        | Varėna                                                            | 0.5                              | 0.47           | 3.6                               | 3.5                                    |
|                                                          |                                 |                |                                   |                                        | <b>In total</b>                                                   | <b>1.7</b>                       | <b>0.58</b>    | <b>38.4</b>                       | <b>27.3</b>                            |
|                                                          |                                 |                |                                   |                                        | <b>Without Birštonas and Druskininkai resorts and Alytus city</b> | <b>0.7</b>                       | <b>0.27</b>    | <b>5.8</b>                        | <b>4.8</b>                             |

Note: \* Based on data from national statistics office, which do not correspond to the EUROSTAT data



If we look at the density of all accommodated tourists, we might notice one municipality in Poland, the Suwałki city, and three in Lithuania, namely Alytus city, Birštonas resort, and Druskininkai resort, featuring abnormally high figures in comparison to the rest of the municipalities. As a result, the average figures become bigger than they should be and no more reflect the true situation in ordinary municipalities. Therefore, the table also presents the average figures which were calculated without taking into account data of the abnormal municipalities.

Exclusion from the calculations of two resort municipalities and Alytus city reveals just the opposite to the aforementioned preliminary findings, namely, that the density of tourist accommodation providers in the rest of selected Lithuanian municipalities makes less than a half of that figure on the Polish side, or is about 33% less if calculated in relation to the local population.

In the selected counties in Poland, the exclusion of Suwałki city has little impact on the density of tourist accommodation providers, but it diminished the density of all accommodated tourists in the research territory by ~22% (from 24.6 to 19.1) and the density of accommodated local tourists by ~20% (from 21.2 to 16.9). However, the density of tourists in the remaining counties (19.1 tourists per km<sup>2</sup>) is still very high, if compared to the Lithuanian municipalities after the exclusion of the resorts and Alytus city, where it makes only 5.8 tourists per km<sup>2</sup>. This suggests that, unlike in Lithuania, on the Polish side all the counties are an integral part of the tourism landscape, having developed the entire necessary infrastructure for tourism attraction.

On Lithuanian side, the main tourism activity is not that evenly spread across the territory and concentrates in Druskininkai and Birštonas resorts and, to a lesser extent, in Alytus city. The rest of the territory presumably attracts mainly one-day visitors or local tourists not reflected in the statistics. This means that those two resort municipalities having the biggest attraction power for local, inland and foreign visitors should suit the best for testing gravitational interactions of tourist flows. Only there the number of accommodated tourists exceeds the number of local inhabitants, judging by the density figures provided in Table 1 and Table 2.

A closer look at the statistics reveals that Druskininkai being about five times bigger town than Birštonas also has a better-developed tourism infrastructure, since the density of tourist accommodation providers there is ~45% higher than in Birštonas, and the density of all tourists accommodated in the area of the municipality is also ~37% bigger.

The density of domestic tourists, however, in both resorts is almost identical, featuring about 430 tourists per km<sup>2</sup>, which indicates the different preferences in target market selection of those resorts. Although both spa resorts have evenly distributed domestic visitors, Druskininkai gets a greater share of foreign tourists flow.

Presumably, resorts should benefit more from the cities in closer proximity. However, the analysis of Druskininkai and Birštonas contradicts to that assumption. The distance decay functions that relate population in cities and travelling distance or time to the selected resorts suggest that Birštonas should experience a significantly greater than in Druskininkai overall tourist flow from cities in Lithuania, with just slightly worse results from Polish counties (see Table 3). The tourism statistics, however, proves just the opposite, that it is Druskininkai where the number of tourists is significantly greater. It is, however, possible that a

part of estimated potential visitors were one-day tourists who are not reflected in the statistics, and that a portion of one-day tourists in Birštonas is considerably larger than in Druskininkai due to the proximity of Kaunas city. Nevertheless, this can not be testified by the available data without a more thorough analysis, which makes the gravitational function hardly usable in this research for modelling of potential visitors' flow.

Table 3: Modelling of possible tourist flow from larger cities towards Druskininkai and Birštonas resorts using the gravitational distance decay function.

| Cities (possible source of visitors)    | Population (2015) | Modelling for Druskininkai (LT) resort |        |                                               |                       | Modelling for Birštonas (LT) resort    |        |                                               |                       |
|-----------------------------------------|-------------------|----------------------------------------|--------|-----------------------------------------------|-----------------------|----------------------------------------|--------|-----------------------------------------------|-----------------------|
|                                         |                   | Travelling distance or time (on roads) |        | Flow modelling (number of potential visitors) |                       | Travelling distance or time (on roads) |        | Flow modelling (number of potential visitors) |                       |
|                                         |                   | in km                                  | in min | using travelling distance                     | using travelling time | in km                                  | in min | Using travelling distance                     | using travelling time |
| Cities in Lithuania (LT)                |                   |                                        |        |                                               |                       |                                        |        |                                               |                       |
| Vilnius (V1)                            | 532,336           | 130.0                                  | 108    | 31.5                                          | 45.6                  | 93.5                                   | 88     | 60.9                                          | 68.7                  |
| Kaunas (K1)                             | 299,602           | 130.0                                  | 102    | 17.7                                          | 28.8                  | 46.1                                   | 45     | 141.0                                         | 148.0                 |
| Alytus (A2)                             | 55,023            | 58.6                                   | 48     | 16.1                                          | 23.9                  | 35.9                                   | 31     | 42.7                                          | 57.3                  |
| Marijampolė (M4)                        | 37,972            | 94.3                                   | 81     | 4.3                                           | 5.8                   | 50.5                                   | 44     | 14.9                                          | 19.6                  |
| Average distance / total flow           |                   | 103.2                                  | 85     | 69.5                                          | 104.1                 | 56.5                                   | 52     | 259.4                                         | 293.6                 |
| Cities (and towns) in Poland (PL)       |                   |                                        |        |                                               |                       |                                        |        |                                               |                       |
| Suwałki (P1)                            | 69,370            | 97.8                                   | 88     | 7.3                                           | 9.0                   | 105                                    | 90     | 6.3                                           | 8.6                   |
| Augustów (P3)                           | 32,807*           | 107.0                                  | 85     | 2.9                                           | 4.5                   | 139                                    | 110    | 1.7                                           | 2.7                   |
| Elk (W3)                                | 60,462*           | 152.0                                  | 122    | 2.6                                           | 4.1                   | 167                                    | 150    | 2.2                                           | 2.7                   |
| Olecko (W2)                             | 16,460*           | 133.0                                  | 121    | 0.9                                           | 1.1                   | 142                                    | 125    | 0.8                                           | 1.1                   |
| Gołdap (W1)                             | 13,726*           | 154.0                                  | 137    | 0.6                                           | 0.7                   | 151                                    | 139    | 0.6                                           | 0.7                   |
| Grajewo (P4)                            | 27,241*           | 151.0                                  | 120    | 1.2                                           | 1.9                   | 183                                    | 146    | 0.8                                           | 1.3                   |
| Average distance / total flow           |                   | 132.5                                  | 112    | 15.4                                          | 21.3                  | 147.8                                  | 127    | 12.4                                          | 17.0                  |
| Cities in Lithuania and Poland in total |                   | 120.8                                  | 101    | 85.0                                          | 125.4                 | 111.3                                  | 97     | 271.8                                         | 310.6                 |

Note: \* All urban population in the county; The code in parentheses is the notation of the spatial unit on the map, as in Fig. 1; The flow of potential visitors was estimated using the equation (3)

Hence, we can conclude that the distance from bigger cities does not play a big role in overnight tourist flows to Druskininkai and Birštonas resorts in Lithuania, at least for domestic tourists. Being nationwide resorts, those two attract their visitors perhaps for other reasons, and from the whole country. However, differences in foreign tourists' structure of those two resorts, which could be observed from the statistics, might have something to do with the distance from the state border, which needs a closer examination in the context of the whole cross-border region.

According to the statistics, all counties on the Polish side of the cross-border region have a certain number of foreign visitors, although their share in the total tourists' structure is insignificant for Grajewo, Olecko, Sejny and Gołdap counties (see Table 4).

Table 4: Number and country of origin of foreign tourists in selected counties and municipalities, in 2015.

| Territorial unit                      | Foreign tourists |                     | Composition of foreign tourists by country of origin, in % |      |      |      |      |      |      |      |          |
|---------------------------------------|------------------|---------------------|------------------------------------------------------------|------|------|------|------|------|------|------|----------|
|                                       | number           | % of total tourists | LT                                                         | RU   | BY   | PL   | LV   | DE   | EE   | FI   | The rest |
| Resorts in Lithuania (LT)             |                  |                     |                                                            |      |      |      |      |      |      |      |          |
| Druskininkai (A3)                     | 103,207          | 34.8                | -                                                          | 22.4 | 21.5 | 19.6 | 15.9 | 6.7  | 1.8  | ND   | 12.2     |
| Birštonas (K3)                        | 5,850            | 10.0                | -                                                          | 16.6 | 7.6  | 6.3  | 14.2 | 37.8 | 2.1  | ND   | 15.4     |
| Counties (and resorts) in Poland (PL) |                  |                     |                                                            |      |      |      |      |      |      |      |          |
| Suwałki (P1)                          | 2,621            | 14.2                | 17.2                                                       | 11.2 | 2.6  | -    | 9.0  | 7.6  | 20.6 | 8.2  | 23.5     |
| Suwałki city (P1)                     | 9,165            | 21.2                | 13.7                                                       | 6.6  | 3.8  | -    | 9.0  | 9.7  | 15.9 | 13.8 | 27.5     |
| Sejny (P2)                            | 402              | 3.7                 | 10.9                                                       | 10.2 | 2.5  | -    | 8.2  | 5.2  | 1.2  | 0.7  | 60.9     |
| Augustów (P3)                         | 9,618            | 18.3                | 19.5                                                       | 7.9  | 6.8  | -    | 8.0  | 9.1  | 15.0 | 7.6  | 26.1     |
| Grajewo (P4)                          | 74               | 0.5                 | 10.8                                                       | 0.0  | 0.0  | -    | 0.0  | 74.3 | 0.0  | 0.0  | 14.9     |
| Gołdap (W1)                           | 717              | 4.7                 | 10.9                                                       | 30.0 | 18.7 | -    | 3.2  | 20.9 | 2.2  | 0.0  | 14.1     |
| Olecko (W2)                           | 113              | 1.2                 | 5.3                                                        | 31.9 | 0.0  | -    | 0.0  | 19.5 | 0.0  | 0.9  | 42.5     |
| Elk (W3)                              | 2,636            | 11.3                | 14.2                                                       | 3.5  | 7.6  | -    | 6.0  | 27.9 | 3.4  | 3.5  | 34.0     |

Note: A country codes in the table mean: LT – Lithuania, RU – Russia, BY – Belarus, PL – Poland, LV – Latvia, DE – Germany, EE – Estonia, FI – Finland; ND in the table stands for “no data” if a national statistics office does not provide such figures; The code in parentheses is the notation of the spatial unit on the map, as in Fig.1

Territories around Augustów, Suwałki and Elk cities in Poland have attracted a significant number of tourists from Lithuania. This might indicate a merging of tourism area across the border, but similar figures for Estonian tourists and slightly smaller for Latvian, German and Finish tourists suggest that this might as well be just overnight stay of transiting people, since all the transiting road traffic to Lithuania, Latvia, Estonia and Finland not crossing the EU borders goes through that region.

Elk has a noticeable percentage of foreign tourists, and Lithuanian tourists as well, but the closer analysis reveals that the most significant portion of foreign tourists came from Germany, like in two other counties that once were part of former Eastern Prussia, Gołdap and Olecko, where German tourists are on the second place after the Russian, and also in Grajewo county. Counties close to the Russian border, especially Gołdap and Olecko, also have a significant portion of Russian and Belarusian tourists, which is a good indicator of integration of tourism areas going on there, although the total number of foreign tourists there is rather small.

Although local cross-border tourists at Polish-Lithuanian border are not traceable in the statistics, especially if they choose short one-day trips, the statistics can reflect inland tourists from both countries attracted by compound tourism assets across the border. In this sense, it seems rational to determine the tourism market boundaries of the main centres of tourist attraction and check if they extend across the state border.

Modelling the spatial interaction between two centres of tourists’ attraction in Lithuania and three in Poland based on the simple gravitational determination of boundaries between any two competing markets showed that market boundaries indeed extended across the border from both the Lithuanian and the Polish sides (see Table 5).

Table 5: Determination of tourism market boundaries for two Lithuanian resorts in relation to centres of tourist attraction in Poland, in 2015.

| Centres of tourism attraction     | Market size (all tourists) | Foreign tourists from PL/ LT | Modelling for Druskininkai (LT) resort |                            |                                                     | Modelling for Birštonas (LT) resort   |                            |                                                     |
|-----------------------------------|----------------------------|------------------------------|----------------------------------------|----------------------------|-----------------------------------------------------|---------------------------------------|----------------------------|-----------------------------------------------------|
|                                   |                            |                              | Route distance to the Polish city, km  | Market boundary extent, km | Route distance from the resort to the state border, | Route distance to the Polish city, km | Market boundary extent, km | Route distance from the resort to the state border, |
| Resorts in Lithuania (LT)         |                            |                              |                                        |                            |                                                     |                                       |                            |                                                     |
| Druskininkai A3)                  | 296,278                    | 20,275                       |                                        |                            |                                                     |                                       |                            |                                                     |
| Birštonas (K3)                    | 58,418                     | 369                          |                                        |                            |                                                     |                                       |                            |                                                     |
| Cities and resorts in Poland (PL) |                            |                              |                                        |                            |                                                     |                                       |                            |                                                     |
| Suwałki city+county (P1)          | 61,765                     | 1,704                        | 97.8                                   | 67.1                       | 55.7                                                | 105                                   | 51.8                       | 79.6                                                |
| Augustów (P3)                     | 52,419                     | 1,874                        | 107.0                                  | 75.3                       | 55.7                                                | 139                                   | 71.4                       | 88.6* (79.6)                                        |
| Elk (W3)                          | 23,323                     | 373                          | 152.0                                  | 118.7                      | 55.7                                                | 167                                   | 102.3                      | 88.6* (79.6)                                        |

*Note:* \* Distance to the state border on the shortest route to the corresponding foreign cities; The code in parentheses is the notation of the spatial unit on the map, as in Fig.1; The market boundary extent was calculated by solving the equation (4) from the perspective of Druskininkai (LT) or Birštonas (LT) resorts in respect of the corresponding Polish cities so that it could be compared to the distance from these resorts to the state border

In the case of Suwałki city with its surroundings (PL) and Birštonas resort (LT) interaction, the modelled market boundary extends inwards Lithuania along the route by almost 28 km. In the case of Augustów (PL) and Birštonas (LT), it extends in a range of about 8–17 km. Consequently, the number of Lithuanian tourists in Suwałki (PL) and Augustów (PL) is by 4.6–5.1 times bigger than that of Polish tourists in Birštonas (LT). Nevertheless, in case of interaction with Elk (PL), the Birštonas resort (LT) attraction extends beyond the border inwards Poland by about 14–23 km, although the quantity of Polish tourists in Birštonas (LT) and Lithuanian tourists in Elk (PL) is almost equal.

A different situation is with Druskininkai resort (LT). The number of Polish tourists there is akin to that of Polish domestic tourists in Elk (PL) and is close to half of the domestic tourists in Augustów (PL). These quantities indicate that this resort should have a strong influence that extends beyond the border. The modelling suggests that the market boundary of Druskininkai resort (LT) in relation to Suwałki city with its surroundings (PL) lies inward Poland by about 11 km, in relation to Augustów (PL) by about 20 km, and in relation to Elk (PL) even by 63 km.

Hence, the analysis proves the bidirectional character of cross-border interaction at the Lithuanian-Polish border concerning the number of accommodated tourists and their country of origin, despite the structural differences of tourism in that region and different level of development of tourism accommodation providers.

## 4 CONCLUSIONS AND PROPOSALS

Overall the use of two chosen forms of gravity models for the analysis ended up with different success. The assessment of potential tourist flows from bigger cities by using the gravitational distance decay function did not suit well for the tested resorts in Lithuania, Druskininkai and Birštonas, since neither the distance nor the size of the closest cities had an impact on the actual overnight tourist flow in these

resorts. However, using the gravity model for the determination of market boundaries between the competing centres of tourist attraction proved to be a successful choice, which has provided interesting data for the analysis.

The analysis has revealed the essential differences in the structure of tourism across the border in the Lithuanian-Polish cross-border region. On the Lithuanian side, the main activity of overnight tourists in terms of density of tourist accommodation providers and density of accommodated tourists concentrates in Alytus city and in two resorts, Druskininkai and Birštonas, while the rest of the territory lacks overnight visitors. On the Polish side, the highest density of tourist accommodation providers and accommodated tourists are in Suwałki city, but in the rest of the examined counties, these figures are also high and rather evenly distributed.

In respect of tourism market sharing across the border, the analysis has confirmed the presence of Lithuanian and Polish tourists in the study region on both sides of the border. Moreover, the amount of Polish tourists attracted to one of the Lithuanian resorts (Druskininkai) resembled that in some centres of a tourist attraction on the Polish side. Judging by the market size expressed in the total number of overnight local, domestic and foreign tourists, five centres of tourist attraction could be identified within the study region, two on the Lithuanian and three on the Polish side. The determination of market boundaries between the Lithuanian and the Polish centres of tourist attraction by using the gravity model revealed that their target markets extended across the state border in both directions, which also had a relation to a quantity of Polish tourists on the Lithuanian side and Lithuanian tourists on the Polish side.

## Literature and references:

- Anisiewicz, R., Palmowski, T. (2014). Small border traffic and cross-border tourism between Poland and the Kaliningrad oblast of the Russian federation. *Quaestiones Geographicae*, 33 (2), 79–86. DOI: <https://doi.org/10.2478/quageo-2014-0017>
- Bar-Kolellis, D., Wiskulski, T. (2012). Cross-border shopping at Polish borders. Tri-city and the shopping potential of Russian tourists. *GeoJournal of Tourism and Geosites*, 8 (1), 42–50.
- Cárdenas-García, P.J., Sánchez-Rivero, M., Pulido-Fernández, J. I. (2013). Does Tourism Growth Influence Economic Development? *Journal of Travel Research*, 54 (2), 206–221. DOI: <https://doi.org/10.1177/0047287513514297>
- Converse, P. D. (1949). New Laws of Retail Gravitation. *Journal of Marketing*, 14 (3), 379–384. DOI: <https://doi.org/10.1177/002224295001400303>
- De Sousa, L. (2013). Understanding European Cross-border Cooperation: A Framework for Analysis. *Journal of European Integration*, 35 (6), 669–687. DOI: <https://doi.org/10.1080/07036337.2012.711827>
- Dolzbłasz, S. (2015). Symmetry or asymmetry? Cross-border openness of service providers in Polish-Czech and Polish-German border towns. *Moravian Geographical Reports*, 23 (1), 2–12. DOI: <https://doi.org/10.1515/mgr-2015-0001>
- Flognfeldt, T., Jr. (1999). Traveler Geographic Origin and Market Segmentation: The Multi Trips Destination Case. *Journal of Travel & Tourism Marketing*, 8 (1), 111–124. DOI: [https://doi.org/10.1300/J073v08n01\\_07](https://doi.org/10.1300/J073v08n01_07)
- Hall, C. M. (2005). Time, Space, Tourism and Social Physics. *Tourism Recreation Research*, 30 (1), 93–98. DOI: <https://doi.org/10.1080/02508281.2005.11081236>
- Hall, C. M. (2006). Space–time accessibility and the TALC: the role of geographies of spatial interaction and mobility in contributing to an improved understanding of tourism. In R.W. Butler (ed.). *The tourism area life cycle*, 2 (pp. 83–100). DOI: <https://doi.org/10.21832/9781845410308-013>
- Hall, C.M. (2012). Spatial analysis: A critical tool for tourism geographies. In J. Wilson (ed.), *The Routledge Handbook of Tourism Geographies* (pp. 163–173). London: Routledge.
- Iacono, M., Levinson, D., El-Geneidy, A. (2008). Models of Transportation and Land Use Change: A Guide to the Territory. *Journal of Planning Literature*, 22 (4), 323–340. DOI: <https://doi.org/10.1177/0885412207314010>
- Kaplan, F., Aktas, A. R. (2016). The Turkey tourism demand: a gravity model. *The Empirical Economics Letters*, 15 (3), 265–272.
- Keum, K. (2010). Tourism flows and trade theory: a panel data analysis with the gravity model. *The Annals of Regional Science*, 44 (3), 541–557. DOI: <https://doi.org/10.1007/s00168-008-0275-2>
- Kisielowska-Lipman, M. (2002). Poland's Eastern Borderlands: Political Transition and the 'Ethnic Question'. *Regional & Federal Studies*, 12 (2), 133–154. DOI: <https://doi.org/10.1080/714004742>
- Krätko, S. (1998). Problems of Cross-Border Regional Integration. The Case of the German-Polish Border Area. *European Urban and Regional Studies*, 5 (3), 249–262. DOI: <https://doi.org/10.1177/096977649800500304>
- Kuemmerle, T., Hostert, P., Radeloff, V.C., van der Linden, S., Perzanowski, K., Kruhlov, I. (2008). Cross-border Comparison of Post-socialist Farmland Abandonment in

- the Carpathians. *Ecosystems*, 11 (4), 614–628. DOI: <https://doi.org/10.1007/s10021-008-9146-z>
- Kurowska-Pysz J. (2016). Opportunities for Cross-Border Entrepreneurship Development in a Cluster Model Exemplified by the Polish–Czech Border Region. *Sustainability*, 8 (3), 1–21. DOI: <https://doi.org/10.3390/su8030230>
- Lew, A., McKercher, B. (2006). Modeling Tourist Movements: A Local Destination Analysis. *Annals of Tourism Research*, 33 (2), 403–423. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.annals.2005.12.002>
- Löfgren, O. (2008). Regionauts: the Transformation of Cross-Border Regions in Scandinavia. *European Urban and Regional Studies*, 15 (3), 195–209. DOI: <https://doi.org/10.1177/0969776408090418>
- Malaj, V., Kapiki, S. T. (2016). Determinants of tourism flows to Greece: a gravity model approach. *Tourismos*, 11 (2), 202–224.
- Marti, L., Puertas, R. (2017). Determinants of tourist arrivals in European Mediterranean countries: Analysis of competitiveness. *European Journal of Tourism Research*, 15, 131–142.
- Perkmann, M. (2003). Cross-Border Regions in Europe. Significance and Drivers of Regional Cross-Border Co-Operation. *European Urban and Regional Studies*, 10 (2), 153–171. DOI: <https://doi.org/10.1177/0969776403010002004>
- Perkmann, M. (2007). Policy Entrepreneurship and Multilevel Governance: A Comparative Study of European Cross-Border Regions. *Environment and Planning C: Politics and Space*, 25 (6), 861–879. DOI: <https://doi.org/10.1068/c60m>
- Petit, S., Seetaram, N. (2019). Measuring the effect of revealed cultural preferences on tourism exports. *Journal of Travel Research*, 58 (8), 1262–1273. DOI: <https://doi.org/10.1177/0047287518807582>
- Porto, N., Garbero, N., Espinola, N. (2018). Spatial distribution of touristic flows in a gravity model in South America. *Journal of Tourism Analysis: Revista de Análisis Turístico*, 25 (1), 39–53. DOI: <https://doi.org/10.1108/JTA-02-2018-0005>
- Prokkola, E.-K. (2007). Cross-border Regionalization and Tourism Development at the Swedish-Finnish Border: “Destination Arctic Circle”. *Scandinavian Journal of Hospitality and Tourism*, 7 (2), 120–138. DOI: <https://doi.org/10.1080/15022250701226022>
- Reilly, W. J. (1931). *The Laws of Retail Gravitation*, New York, Knickerbocker.
- Santeramo, F. G., Morelli, M. (2016). Modelling tourism flows through gravity models: a quantile regression approach. *Current Issues in Tourism*, 19 (11), 1077–1083. DOI: <https://doi.org/10.1080/13683500.2015.1051518>
- Streimikienė, D., Bilan, Y. (2015). Review of Rural Tourism Development Theories. *Transformations in Business & Economics*, 14 (2), 21–34.
- Travel & Tourism Economic Impact - World 2016. WTTC. 2016
- Turnock, D. (2002). Cross-border cooperation: A major element in regional policy in East Central Europe. *Scottish Geographical Journal*, 118 (1), 19–40. DOI: <https://doi.org/10.1080/00369220218737134>
- Walancik, M., Kurowska-Pysz, J. (2015). Cross-border cooperation of local governments in the field of safety in Polish-Slovak projects. Theoretical approaches and a case study. *Journal of Defense Resources Management*, 6 (1), 45–54.



Aleknavičius M., Aleknavičius A., Kurowska K. (2020). Analysis of spatial interactions of tourism in Lithuanian-Polish cross-border region using gravity models. *Geodetski vestnik*, 64 (3), 361–375.  
DOI: <https://doi.org/10.15292/geodetski-vestnik.2020.03.361-375>

**Assoc. prof. dr. Marius Aleknavičius**

UAB “Almidėjus”

Svajonių 24-15, LT-10100 Vilnius, Lithuania

e-mail: [marius.aleknavicius.001@gmail.com](mailto:marius.aleknavicius.001@gmail.com)

**Assoc. prof. dr. Audrius Aleknavičius**

Vytautas Magnus University,

Universiteto str. 10, LT-53361 Akademija, Kaunas, Lithuania

e-mail: [audriusa11@gmail.com](mailto:audriusa11@gmail.com)

**Assoc. prof. dr. Krystyna Kurowska**

University of Warmia and Mazury in Olsztyn, Faculty of Geoe-

ngineering

ul. Prawocheńskiego 15, 10-720 Olsztyn, Poland

e-mail: [krystyna.kurowska@uwm.edu.pl](mailto:krystyna.kurowska@uwm.edu.pl)



# SLEDENJE PROSTORSKO-ČASOVNE DINAMIKE V KONTEKSTU URBANE REGENERACIJE JAVNIH PROSTOROV Z UPORABO GEOLOCIRANIH OBJAV IZ SOCIALNIH OMREŽIJ

# TRACKING SPATIOTEMPORAL DYNAMICS OF THE CULTURE-LED PUBLIC SPACE REGENERATION USING GEOLOCATED SOCIAL MEDIA POSTS

Kaja Pogačar, Andrej Žižek

UDK: 316.72:711.4

Klasifikacija prispevka po COBISS.SI: 1.01

Prispelo: 2. 6. 2020

Sprejeto: 27. 8. 2020

DOI: 10.15292/geodetski-vestnik.2020.03.376-388

SCIENTIFIC ARTICLE

Received: 2. 6. 2020

Accepted: 27. 8. 2020

## IZVLEČEK

V prispevku je predstavljena alternativna metoda za sledenje prostorsko-časovne dinamike socialnih interakcij v kontekstu procesov urbane regeneracije javnega prostora evropskih prestolnic kulture. Analizirani so javno dostopni geolocirani podatki z družbenih omrežij Instagram in Flickr, za kateri je značilno spletno objavljane fotografij. Količina objav na družbenih omrežjih v nekem časovnem obdobju je proksikalni indikator za prepoznavanje in retrospektivno analizo privlačnosti ter analizo prostorsko-časovne dinamike socialnih interakcij v javnih prostorih. Na podlagi pridobljenih podatkov sta predstavljena dva primera regeneriranih javnih prostorov iz dveh evropskih prestolnic kulture, in sicer območje DEPO2015 v mestu Plzen (CZ) ter DOKK1 urbano nabrežje v mestu Aarhus (DK). Rezultati kažejo, da lahko podatki s platforme Flickr, ki omogoča dostop do natančne geolokacije objavljenih fotografij, razkrijejo atraktivnost javnega prostora. Analiza podatkov z družbene platforme Instagram, ki uporablja geografsko referiranje, pa omogoča zaznavo pomembnejših dogodkov. Rezultate analize podatkov obeh virov je treba razumeti kot dragocen vir za določanje splošne ravni socialnih interakcij v javnem prostoru. Predstavljena metodologija je posebej primerna za analizo centralnih lokacij in posebnih dogodkov, kot je projekt evropske prestolnice kulture.

## KLJUČNE BESEDE

Flickr, Instagram, geolocirani podatki, javni prostor, prostorsko-časovna dinamika, evropska prestolnica kulture, urbana regeneracija

## ABSTRACT

The paper presents an alternative method for tracking the spatiotemporal dynamics of social interactions in public space in the context of the European Capital of Culture-based urban regeneration. The paper analyses publicly available geolocated data from two social media platforms, Instagram and Flickr, which are characterised by the posting of photos on the Internet. The quantity of social media posts in a given time period is used as a proxy indicator to identify and retrospectively analyse the attractiveness and spatiotemporal dynamics of public spaces. Using georeferenced interaction data from social media platforms, two case studies of regenerated public spaces from ECoC cities are presented: the DEPO2015 area in Plzen (Czech Republic) and the DOKK1 urban waterfront in Aarhus (Denmark). The results show that the data from the Flickr platform, which allows access to the exact geolocation of the posted photos, can reveal attractive public spaces, as the popular landmarks were clearly identified on the generated heatmaps. The analysis of data from the Instagram social media platform, which uses georeferencing, can reveal the most important events and should be thus considered a valuable proxy for determining the overall level of social interaction in a public space. The methodology presented is particularly well suited for the analysis of central locations and special events, as is the case with the ECoC.

## KEY WORDS

Flickr, Instagram, geolocated data, public space, spatiotemporal dynamic, European Capital of Culture, urban regeneration

## 1 INTRODUCTION

Traditional approaches to analysing the dynamics, liveability and quality of public spaces by Jacobs (1961), Appleyard (1982), Gehl (2010) and others include quantitative and qualitative methods, such as counting the number of people gathered in public spaces, tracking their activities and movement paths, and observing and describing their social behaviour (Gehl and Svarre, 2013). These early beginnings of research into public space dynamics mainly involved analogous techniques and tools which, characterised by rather small research samples and the personal presence of the researcher on-site, could only measure current activities. In the 1970s, Donald Appleyard first used a video camera to record activities in public plazas in New York (Appleyard, 1982). Since the advent of information technologies, however, new approaches to measuring, recording and tracking the activities of people in public places have been introduced. Data is provided by surveillance cameras, mobile phones and other sensors installed on various devices. The advantage over traditional methods lies in the larger quantity and continuous collection of data, which can provide important information for successful urban management. However, these new approaches also raise the questions of data ownership and accessibility, as well as issues of personal data protection. These often-proclaimed negative aspects of the ICT<sup>1</sup>-driven transformation of public space through the instruments of control can contradict the very idea of the publicness. In this paper, we propose an alternative method that uses data collected from the digital layer (Žižek, 2018) of actual public spaces, which represent a digital footprint of existing social interactions and are not collected with any intent related to the described privacy issues. With the increasing number and reach of social media platforms, the availability of the associated metadata also increases, which improves application in urban research (Chae et al., 2014; Žižek, 2018; Barros, Moya-Gómez and García-Palomares, 2019; Han, Nguyen and Sahito, 2019). In addition to traditional methods, this alternative approach also enables retrospective research, overview and evaluation, as well as temporary data analysis.

By analysing publicly available geolocated data gathered from social media platforms using the REST API<sup>2</sup> technology (Barros et al., 2019), it is possible to track the spatiotemporal dynamics of social interactions in public space through their different development stages. Photo-sharing social media platforms have become interesting for urban research because photos have an emotional connection to places, events and people and contain a symbolic value when published on social media platforms (Iglesias-Sánchez et al., 2020). In addition, photos as social media posts contain valuable metadata that can be used for analysis and information discovery. Using the described approach, this paper presents two case studies of the cities of Pilsen (Czech Republic) and Aarhus (Denmark), both European Capitals of Culture (ECOC). Cities associated with the ECOC<sup>3</sup> were selected for the case study because it is known that this program has a significant impact on the urban regeneration of public spaces (Garcia, 2005; Richards and Wilson, 2004). The program attracts a lot of attention with various events and activities and offers an opportunity for posting photos on social media platforms.

The aim of the research is to present an alternative method for tracking attractiveness and dynamics of social interactions in selected public spaces. Two types of changes will be tracked, the first referring to the attractiveness of a particular public space observed from the social media perspective. The second will refer to changes in dynamics and the intensity of social interactions in public space. In both cases, the main

<sup>1</sup> ICT - Information and Communications Technology

<sup>2</sup> REST API - Representational State Transfer / Application Program Interface

<sup>3</sup> Since its launch in Athens in 1985, the ECOC programme has focused on providing the selected cities with a comprehensive cultural program for one year, promoting cultural objectives, intercultural dialogue and cultural diversity between European countries and citizens. Culture has been recognised as a catalyst and driver of urban regeneration and image renaissance.

indicator is the quantity of social media posts related to the particular location acquired from the two social media platforms, Flickr and Instagram in a given time period. We want to show that data collected from the social media platforms reflects these changes as a consequence of the urban regeneration process.

## 2 STUDY AREA

### 2.1 Selection of public space

Main research locations were selected with the focus on open public spaces. For the selection of public spaces, two main criteria were used. The first related to the availability of data, while the second criterion was based on the prerequisite that the open public space was repurposed or renewed in connection to the ECoC. Main development plans and infrastructure investments in the urban renewal of the ECoC program were identified for each city through various sources, such as official evaluation reports, official websites, etc. Related to the availability of data, all ECoC cities between the beginning of 2015 and the end of 2018 were considered. This was because, in the period before 2015, not enough data was available on both platforms and, after 2018, there was no possibility to track the immediate impacts after the conclusion of the ECoC. The observation period was divided into three parts: the period prior to the ECoC, the whole year of the ECoC and the period after, at least one year or more. By searching for appropriate research locations, all cities in the aforementioned period were analysed as follows: the ECoC cities of Pilsen (Czech Republic) and Mons (Belgium) from 2015, San Sebastian (Spain) and Wrocław (Poland) from 2016, Aarhus (Denmark) and Paphos (Greece) in 2017 and Leeuwarden (Netherlands) and Valleta (Malta) in 2018. All these cities<sup>4</sup> invested in public space renewal and revival activities, though sufficient data was not available in all cases, therefore the decision was made to select the city of Pilsen and the location of the DEPO 2015 (Figure 1), as well as the city of Aarhus, with the renewal of a former docks area into a contemporary urban waterfront area (Figure 2).

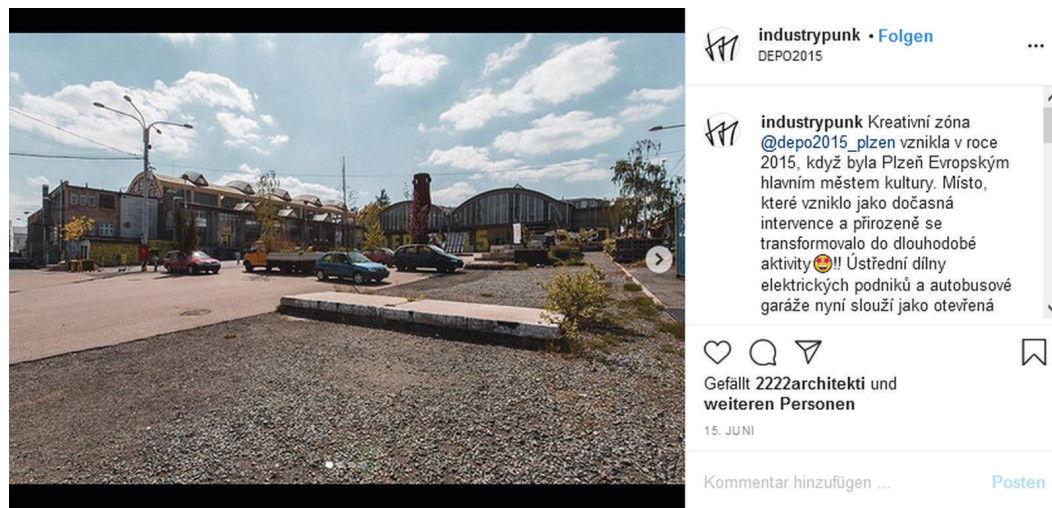


Figure 1: Example of a posted photo of DEPO2015 in Pilsen, retrieved from the Instagram social media platform (Source: Instagram).

<sup>4</sup> Projects related to ECoC cities that haven't met the criteria for selection: i.e. Strait Street project in Valleta, renovation of the public space in front of the main train station in Leeuwarden, Harmoniekwartier in Leeuwarden, artistic activation of a public square in Mons with the Passenger Project, the 'Open Air Factory' in the climate-friendly city of Paphos, which enabled around 70% of events to be organised outside, in squares and natural sites, etc.

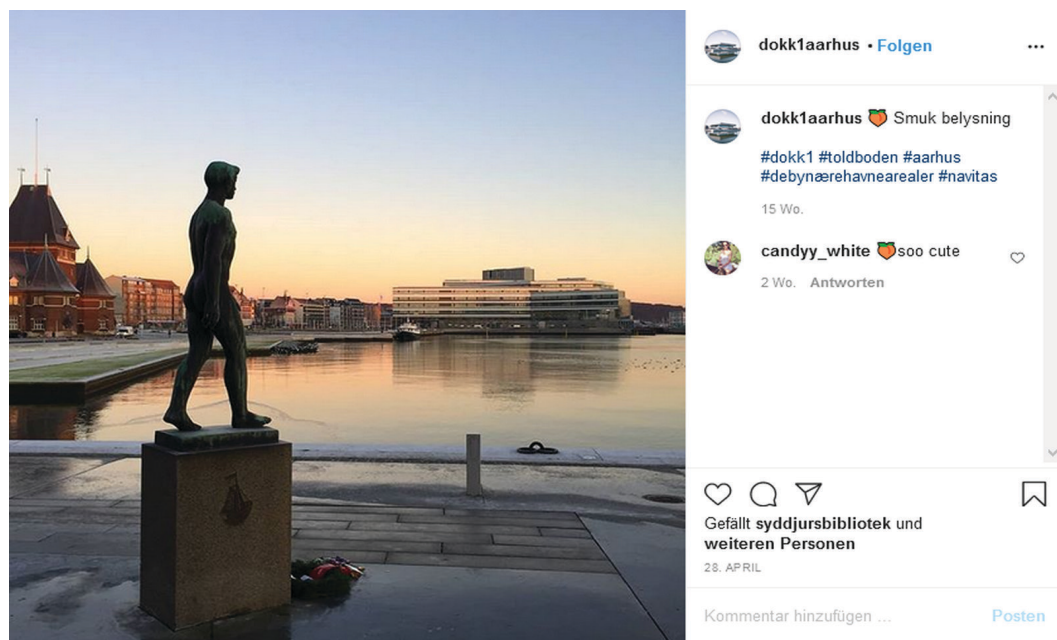


Figure 2: Example of a posted photo of DOKK1 urban waterfront in Aarhus, retrieved from the Instagram social media platform (Source: Instagram).

## 2.2 Study areas and ECoC context

Investment in the cultural infrastructure in the city of Pilsen included several projects, among them DEPO2015, which was found to be most appropriately related to the research criteria and was, according to the official final evaluation document by the European Commission, named as one of the most important projects of the ECoC (Fox and Rampton, 2016). It represents the reconstruction of a derelict bus depot into a cultural zone with a large open space that was renovated using a design that still indicates former use and the industrial character of the zone. The zone, which brings together business with cultural and creative industries, was opened in 2015 and offers co-working spaces, exhibitions space, art residences and more. The former bus yard was transformed into a multifunctional space, where different workshops, events and concerts are held (the largest with 20,000 people) (Fox and Rampton, 2016).

In Aarhus, a large part of the ECoC's planning focused on construction and infrastructure developments around the waterfront area of the city. A former industrial harbour was, as part of the 'Urban Mediaspace Aarhus' project (Jensens Tegnestue, 2015), transformed into a new central urban waterfront, comprising several public squares (Harbour Square, Tolbod-Plads and Europaplads), including the construction of DOKK1, the largest library in Scandinavia. The waterfront is the size of four football stadiums (23,000 m<sup>2</sup>) was converted into public and recreational spaces (i.e. for concerts, flea markets, funfairs, Aarhus Festival, circus, beach volley, ice skating, open-air cinema and more) (Fox and Rampton, 2018). The DOKK1 urban waterfront<sup>5</sup> area was completed in the summer of 2015.

<sup>5</sup> The observed area includes the new library building DOKK1 and approx. 800 m of the waterfront area located next to this building. As there are many different names appearing for this area in literature, a decision was taken to use the name DOKK1 urban waterfront (and DOKK1 u.w. for tables and figures).

3 METHODOLOGY

A methodology is proposed for verification of general observations on the increase in public space interactions caused by the associated investment in spatial improvements, in the new landmark architectural projects and other spatial upgrades. The methodology applied in the research consists of four general steps (Table 1).

Table 1: Methodology in steps.

| 1. step                                           | 2. step                                        | 3. step                                              | 4. step                             |
|---------------------------------------------------|------------------------------------------------|------------------------------------------------------|-------------------------------------|
| selection of public space<br>(repurposed/renewed) | data collection<br>(from Flickr and Instagram) | data visualisation<br>(via heatmaps and time-series) | data analysis and<br>interpretation |

3.1 Data collection

Data was collected from social media platforms on selected public spaces using the REST API technology. Two social media platforms, Instagram and Flickr, were selected based on the availability of metadata on the locations and the relevant semantic relationship of the analysed posts to the observed locations. Besides, both Instagram and Flickr use the posting of photos as the central prerequisite for user interaction. Posted digital photos contain useful metadata, including time and location. At the same time, posted images represent a symbolic link to public space, depicted either as background or as the main object of interest (Figure 1 and Figure 2). Flickr was one of the first photo sharing and storage platforms, created in 2004. Instagram, an even younger platform, was launched in 2010. In addition, the two selected platforms, Flickr and Instagram, differ in the key areas of research as the use case, the tools used, and interaction motives are also different (Table 2). Another difference is related to the availability of location data. In the case of Flickr, access to the location metadata is not restricted, and the exact location of the post is transmitted with latitude and longitude. In the case of Instagram, as of May 2018, the location metadata of each individual post is deleted and replaced with the location ID, which represents the general geographic location, i.e. square or a street with a recognisable name, but it does not reveal the exact location originally stored in the uploaded photo. The described differences in the collected data from the two social media platforms dictate two varied approaches to the analysis.

Table 2: Differences between Flickr and Instagram.

|           | use case                                         | tools                                                        | motives                                                  |
|-----------|--------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------|
| Flickr    | designated for a hobby,<br>amateur photographers | posted images are often<br>made with photographic<br>cameras | artistic motives and<br>architectural highlights         |
| Instagram | casual photography, visual<br>messaging          | images are taken mostly with<br>mobile phones                | casual images of persons,<br>places and food (lifestyle) |

3.1.1 Flickr data

The Flickr REST API was used to collect metadata from geolocated posts within a radius of 500 metres around each city centre. This wide coverage enables the mapping of several public spaces in the vicinity of the ECoC-designated public space, thus enabling the identification of those most frequently photographed. Duplicates were removed from the collected data, as well as chain uploads represented by multiple photos with the same location and time stamps. Subsequently, heatmaps for both cities were created with GIS software, using the exact geolocations of the posts. The analysis of temporal dynamics based on Flickr data was not considered due to the lower data frequency.



Furthermore, it must be mentioned that data from Flickr is not appropriate for showing temporal dynamics and is only used to identify locations; therefore two maps were prepared for each location (A - before the ECoC and B - during and after the ECoC). The presentations based on the Flickr data are constructed considering the limits of the data availability. Further dispersion in time slots (before, during and after) would not provide relevant results. To identify temporal dynamics, Instagram data was provided after the location had been identified as relevant and attractive in Flickr.

### 3.1.2 Instagram data

In order to enable an analysis of the temporal dynamics of interactions in public space, data from the second social media platform, Instagram, was collected. As mentioned above, Instagram enables a more casual interaction with the platform by using personal devices, such as mobile phones, to generate posts. As a result, the number of posts related to the observed locations is much higher. The locations of the posts were identified using Instagram's location (Clement, 2020). The temporal dynamics of the collected data points are presented as a time series showing the weekly number of posts within the defined time span.

The availability of data from both platforms and for both locations is presented in Figure 3 and Table 3.

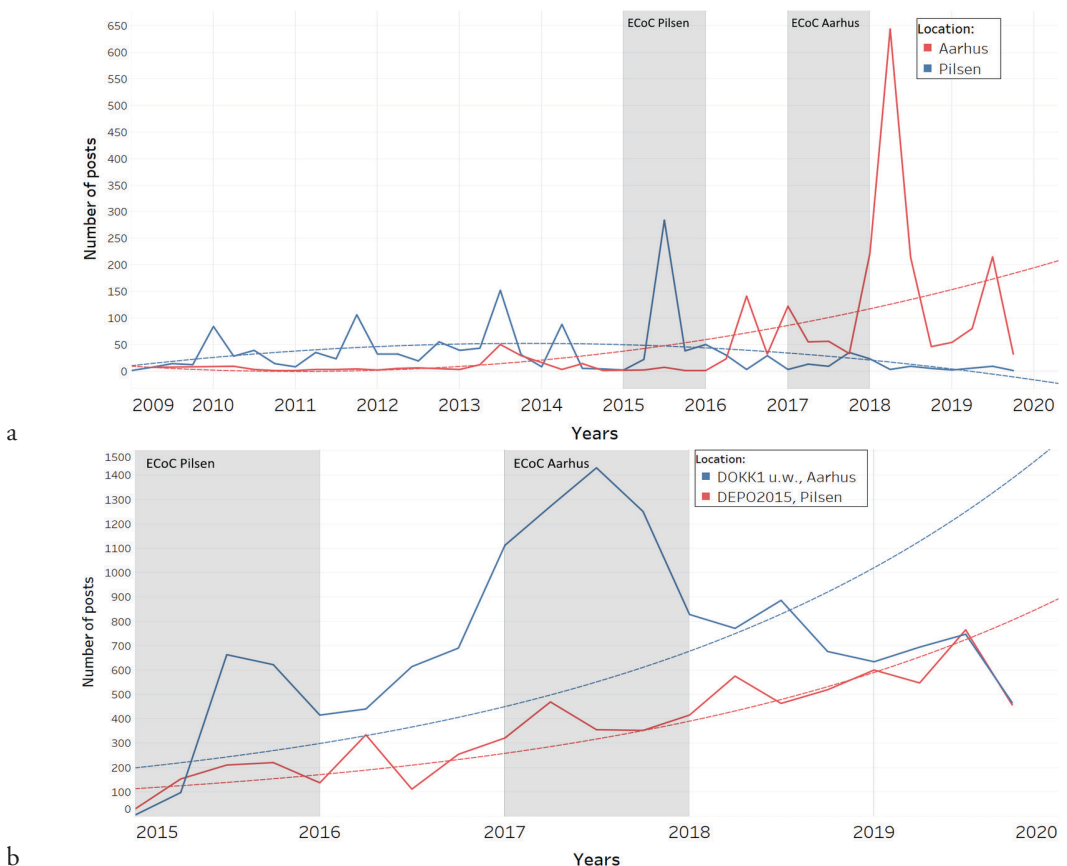


Figure 3: a) Flickr social media data availability for Pilsen and Aarhus, b) Instagram social media data availability for DEPO2015, Pilsen and DOKK1 u.w., Aarhus (in quarters).



Table 3: Number of collected posts from Flickr and Instagram.

| ECoC city                    | Pilsen    | Aarhus     |
|------------------------------|-----------|------------|
| <b>Flickr</b>                |           |            |
| radius                       | 500 m     | 500 m      |
| research period              | 2009–2020 | 2009–2020  |
| posts collected (total/used) | 1470/445  | 2205/565   |
| <b>Instagram</b>             |           |            |
| focus location               | DEPO2015  | DOKK1 u.w. |
| research period              | 2015–2020 | 2015–2020  |
| posts collected              | 7470      | 14774      |

3.1.3 Social media data as a proxy value

The use of social media data does not directly correspond to the data collected, i.e. through manual counting of visitors in public spaces (Gehl and Svarre, 2013) or through various observation methods, such as behaviour mapping (Goličnik and Ward-Thompson, 2002). However, geolocated data from social media can and should be considered a valuable proxy for determining the general level of social interaction in a public space (Cheliotis, 2018; Cvetojevic and Hochmair, 2018; Taylor et al., 2014). The final evaluation of the data underlies demographic representation bias, such as the local adoption level of ICT and population groups using online platforms to varying degrees, depending on age, gender, education, etc. (Greenwood, Perrin and Duggan, 2016).

3.2 Data visualisation and analysis

In the third step, collected data was visualised, and in the fourth step, data was analysed according to two aspects, as a basis for the quick evaluation of the impact of the ECoC programme:

a) *The change in the attractiveness of a public space observed from the social media perspective.*

When trying to capture the changing dynamics of public space and the impacts of urban regeneration, the adjective liveable (Gehl, 2010) could be more appropriate, but because this study uses posted photos as an indicator, it was decided to use the term ‘attractiveness’. The attractiveness of a particular space, observed from the social media perspective, is retrieved from the heatmaps of city centres generated by the Flickr posts, as the ambition of photographers and the quality of the images is in general higher when compared to the images posted on Instagram.

b) *The change in dynamics and the quantity of social interactions in a public space based on social media interaction data.*

This aspect relates to the general daily interactions and activities of residents and visitors. The dynamics of social activities is visible from the number of weekly posts on Instagram, where peaks in the number of posts are understood as a result of special circumstances, such as public events, which could reflect the particular nature of the observed space (i.e. as an event space) and its dynamics.

## 4 RESULTS

### 4.1 Pilsen case study

The data collected from the Flickr social media platform for the defined area in the centre of Pilsen (Figure 4) shows changes in highlighted locations resulting from two observation periods. Map A shows the period between 2009 and 2014, where the highest concentration of posts was identified along the axis between the main train station building in the east and the old city centre. The observed location of the former bus depot on the map A does not show any accumulated posts in the aforementioned period. However, posts collected in the period between 2015 and 2020 show a significant increase in their number as a result of the transformation of the site into DEPO2015, visible in map B. Within the area of observation, the location of DEPO2015 is the most exposed, also in comparison to other marked areas.

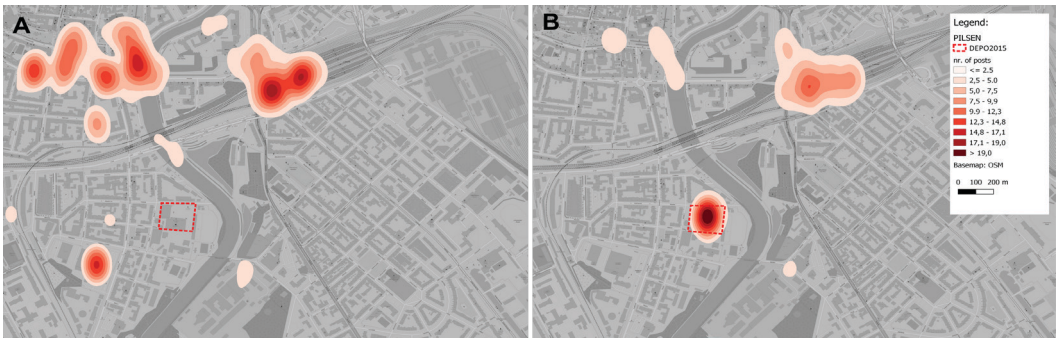


Figure 4: Heatmap compiled according to the frequency of data-points for Pilsen city centre: A) shows a period between 2009–2014, B) a period between 2015–2020 (map scale 1 : 10,000).

In the second phase of the analysis, the impact of the DEPO2015 project on the temporal dynamics of the related public space was analysed. Figure 5 shows the temporal dynamics of posts collected from the Instagram social media platform for the location of DEPO2015. No data was available before 2015, because the area opened in 2015, just before the ECoC began; the data available since then reflects the social interactions in the observed space.

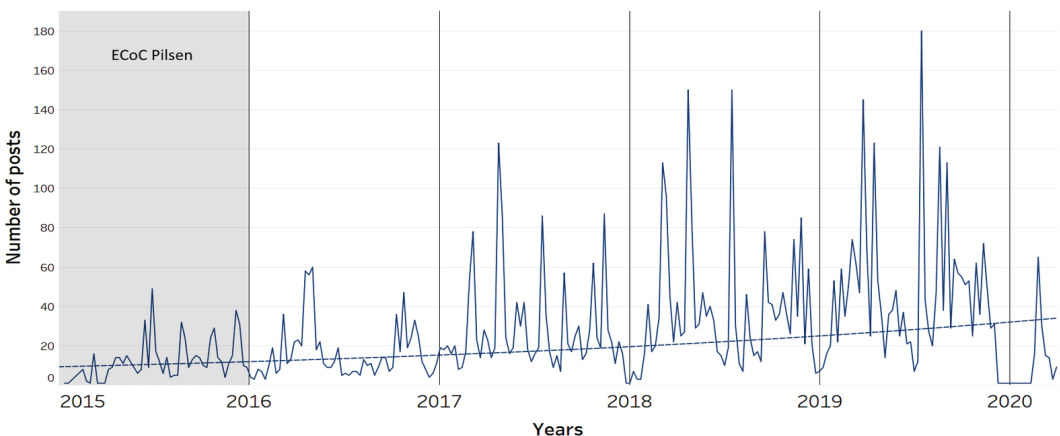


Figure 5: Weekly number of posts for DEPO15 on Instagram (2015–2020).

It is noticeable that, during the 2015 ECoC period, several events are clearly present, which can be seen in the higher number of posts. They show the emergence of dynamic activity in the observed area, which is more pronounced in the second half of the year, indicating an increase in the activity and popularity of the site (Figure 5). Furthermore, a steady increase is visible in the number of posts from 2015 to 2020. Although it was expected that the year of the ECoC 2015 would be more explicitly accentuated on the graph, the data availability was low, reflecting the limited use of Instagram at that time. Just for orientation, the dynamics of the events and the numbers of visitors measured on-site, as indicated in the final report, showed that 100,000 people visited the area in 2015 as a whole and, for some events, more than 10,000 people were present at the weekends (Fox and Rampton, 2018). It is not possible to establish a direct correlation between the number of posted images and the number of visitors counted on-site, but it is possible to identify a pattern of spatial dynamics shown in the data, as individual events are visible on the trendline and the trendline seems to be rising.

## 4.2 Aarhus case study

The data collected from Flickr for the centre of Aarhus (Figure 6) shows several accentuated areas of attractiveness. Between 2009 and 2016 (map A), the waterfront area does not show a significant number of posts. The most accentuated areas are located between the Aarhus Central Station and around the Aarhus City Hall, as well as in the space around the Cathedral. Between 2017 and 2020, the waterfront area is, however, visibly accentuated. It is also noticeable that the general attractiveness of the observation area increased significantly, probably as a result of the rich programme implemented during the ECoC. A total of 88 projects were focused only on developing urban space and the environment. The most highlighted area among them shows the location of the popular rooftop terrace of the Salling.

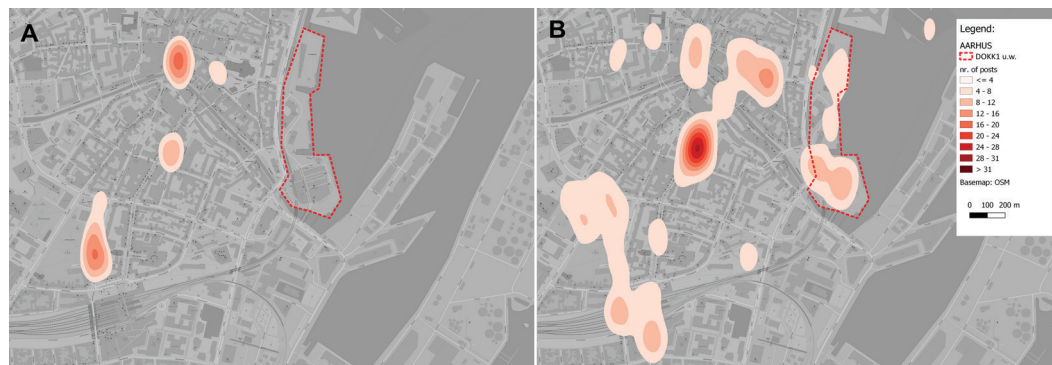


Figure 6: Heatmap compiled according to the frequency of data-points for the Aarhus city centre: A) shows a period between 2009-2016, B) a period between 2017-2020 (map scale 1:10.000)

The temporal dynamics of posts collected from the Instagram social media platform for the location of the DOKK1 urban waterfront area (Figure 7) show that no data was available in the period before 2015, as the area was opened in the summer of 2015. The graph shows a significant increase in the number of posted images taken in the year of the ECoC. The day of the opening ceremony, on January 21, 2017, is the day with the highest number of posts (the first spike in Figure 7 in the year 2017). During 2017 several other events, seen in the higher number of posts, are noticeable, reflecting the particular event

dynamics. Data on the number of people visiting the location of the waterfront area was not available, though the general number of visitors stated in the final report is remarkably high. The decline in the number of posts after 2018 can be explained with the lower number of events and visitors in the city of Aarhus compared to the ECoC year 2017.

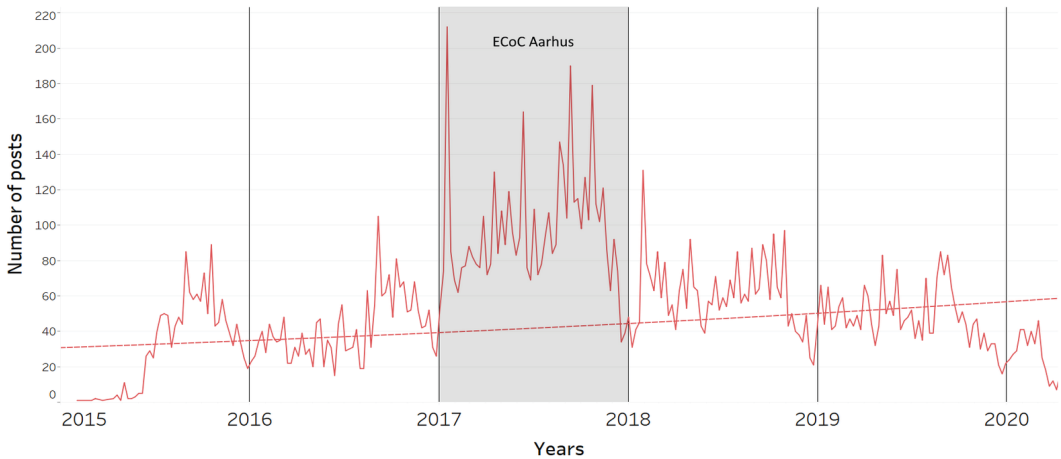


Figure 7: Weekly number of posts for DOKK1 u.w. area (2015–2020).

According to Fox and Rampton (2016), the Aarhus ECoC project was, in terms of sustainability, described as an example of good practice, being a key part of the ECoC's overall legacy, which can also be confirmed by the research results.

## 5 DISCUSSION

In this paper, we have investigated how data posted on social media platforms can show the attractiveness and spatiotemporal dynamics and intensity in specific public spaces in relation to the ECoC programme. Although the proposed method is not precise, it works well as a proxy evaluation tool. It enables research based on the georeferenced data covering several years of activity available on social media platforms.

It has been shown that the data from the Flickr platform, which allows access to the exact geolocation of the posted photos, can identify attractive locations, as the well-known landmarks in both cities have been clearly identified on the generated heatmaps. All the maps presented showed locations that were perceived as sufficiently important and attractive by the inhabitants or visitors to document them, which speaks of a certain motivation or even quality that conforms to the expected correlation.

With regard to the evaluation methodology using the data collected from the Instagram social media platform to analyse the spatiotemporal dynamics of activities, it has been shown that the generated time-series reflect the intensity of activities carried out in public spaces, even if they fall short of providing a complete picture, mainly due to the relatively small data pool. However, as the example from the Aarhus shows, even a relatively small number of posts can help to identify the dynamics of activities in public spaces, as the day of the ECoC opening event in the Aarhus was clearly identified in the time-series presented, as well as the whole year of the ECoC. Other, more time-limited events or activities, which last only minutes or an hour, would require additional research to be consistent with the available data.

In combination with additional data-sources, this method could become more reliable, as it currently only provides basic insight and can, therefore, serve as a guide for future research and action. It is also not possible to redetermine the types of activities from the graphs, but rather the dynamics behind the pattern. It is assumed that the data collected does not reflect the actual daily activities of the residents, as they are not motivated to post photos while they are going about their necessary daily tasks (e.g. going to the library, reading the newspaper on a bench, waiting for a friend, eating ice cream), but rather to show special events that take place and that can be photographed by both locals (i.e. their children singing in the choir in the public space) and visitors (i.e. attending the concert in the public space). The method provides information about the nature of the public space rather than the actual daily routine. In addition, larger amounts of data would allow a better link to the activities actually performed in public spaces. Combining the presented data-sourcing method with additional data-sourcing approaches can expand its practical applicability, i.e. by using other types of Volunteered Geographic Information (VGI) in many ways related to georeferenced data from social media, as discussed by authors such as Capineri et al. (2016) presenting the use of the Flickr data, and Čekada and Lisec (2019), who describe the possible use of VGI for administrative purposes. However, to analyse the temporal dynamics of interactions in public space, more specific approaches are needed, based on personal mobile devices and different scenarios of public data participation, such as gamification as described by Martella et al. (2019) or the provision of smart information services by public authorities that enable the collection of high-frequency real-time data.

When comparing the proposed methodology with similar research, both similarities and important key differences were identified. In the introduction, two main research works were cited, both of which use social media data as a proxy value for general physical activity in observed public spaces (Barros et al., 2019; Iglesias-Sánchez et al., 2020b). In the first example, Barros et al. (2019) used the Flickr data to evaluate the visitor activity in the Spanish nature parks. The temporal distribution of visitors, activity peaks and the most frequently visited places were identified and analysed. The second research example by Iglesias-Sánchez et al. (2020) uses the Instagram data to identify the most attractive places for tourists in the Algarve and the Costa del Sol regions. The emotional tone of related posts has also been analysed, providing additional qualitative information. Alternatively, the presented study on the ECoC's locations suggests combining both social media platforms as a source of research data, focusing on the specific features they offer: (1) high location accuracy of the Flickr data versus (2) high temporal frequency of the Instagram data. This approach allows the most efficient identification of attractive locations and the identification of related temporal dynamics and provides a more effective tool for research on ECoC-driven impacts in urban public spaces.

The proposed methodology can, therefore, help urban planners and city managers to plan and latter assess the distribution of activities and ensure a better balance in urban planning for complex public events, rather than allowing overcrowding in just a few specific locations. Finally, in order to apply the presented methodology, it is necessary to understand the different groups of people who use social media platforms while visiting places of interest. In the case of a well-designed and vital public space in a residential area, used only by residents who may not wish to post photos of their children playing in the playground, the proposed methodology would make it difficult to identify the attractiveness and usage patterns of such public spaces. Therefore, this method is only suitable for the analysis of central locations and popular public events, as it is in the case of the ECoC.



## 6 CONCLUSIONS

The research has shown that the methodology presented can be used for rapid evaluation of the ECoC, but also for other similar projects, i.e. investments in the new spatial interventions and public space activities. Especially for ongoing events, this can be combined with the tracking of additional information and indicators. Finally, both observed public spaces from Pilsen and Aarhus show many differences in size, approach, investment and planning. Nevertheless, the proposed methodology has recognised both of them as important spaces in their respective cities, with a vibrant dynamic of use. It is also valuable to be able to collect data on specific activities in the observed public space long after the actual events have finished.

In the future, more metadata from other social media platforms and alternative sources will be available, allowing for a more detailed analysis and effective detection of deficiencies in public spaces. Mainstream ideas about smart cities (with technical devices, connected devices for monitoring) will be further developed with alternative approaches to the rigid idea of IoTs and will enable wider access to useful data. In conclusion, there is enormous potential for retrospective research using the comparative method, but also for linking new ICT-driven approaches with traditional methods.

## Literature and references:

- Appleyard, D. (1982). *Livable streets*. University of California Press.
- Barros, C., Moya-Gómez, B., García-Palmares, J. C. (2019). Identifying Temporal Patterns of Visitors to National Parks through Geotagged Photographs. *Sustainability*, 11 (24), 6983. DOI: <https://doi.org/10.3390/su11246983>
- Capineri, C., Haklay, M., Huang, H., Antoniou, V., Kettunen, J., Ostermann, F., Purves, R. (2016). European Handbook of Crowdsourced Geographic Information. In C. Capineri, M. Haklay, H. Huang, V. Antoniou, J. Kettunen, F. Ostermann, R. Purves (Eds.), *European Handbook of Crowdsourced Geographic Information*. DOI: <https://doi.org/10.5334/bax>
- Chae, J., Thom, D., Jang, Y., Kim, S., Ertl, T., Ebert, D. S. (2014). Public behavior response analysis in disaster events utilizing visual analytics of microblog data. *Computers and Graphics (Pergamon)*, 38 (1), 51–60. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.cag.2013.10.008>
- Cheliotis, K. (2018). *Agent-Based Modelling of Public Space Activity in Real-Time*. University College London.
- Clement, J. (2020). Instagram: active users 2018. <https://www.statista.com/statistics/253577/number-of-monthly-active-instagram-users>, accessed on 20. 4. 2020
- Cvetojovic, S., Hochmair, H. H. (2018). Analyzing the spread of tweets in response to Paris attacks. *Computers, Environment and Urban Systems*, 71 (January), 14–26. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.compenvurbsys.2018.03.010>
- Čekada, M. T., Lisec, A. (2019). Opportunities for using the volunteered geographic information within the national spatial data infrastructure. *Geodetski vestnik*, 63 (2), 199–212. DOI: <https://doi.org/10.15292/geodetski-vestnik.2019.02.199-212>
- Fox, T., Rampton, J. (2016). Ex-post Evaluation of the 2015 European Capitals of Culture, Final Report. [https://ec.europa.eu/programmes/creative-europe/sites/creative-europe/files/ecoc-2015-evaluation\\_en.pdf](https://ec.europa.eu/programmes/creative-europe/sites/creative-europe/files/ecoc-2015-evaluation_en.pdf), accessed on 29. 3. 2020.
- Fox, T., Rampton, J. (2018). Ex-post Evaluation of the 2017 European Capitals of Culture, Final Report. <https://ec.europa.eu/programmes/creative-europe/sites/creative-europe/files/ecoc-2017-evaluation-en.pdf>, accessed on 15. 3. 2020.
- Garcia, B. (2005). Deconstructing the City of Culture: The Long-term Cultural Legacies of Glasgow 1990. *Urban Studies*, 42( 5–6), 841–868. DOI: <https://doi.org/10.1080/00420980500107532>
- Gehl, J. (2010). *Cities for people*. Washington DC: Island Press.
- Gehl, J., Svarre, B. (2013). How to study public life. In *How to Study Public Life*. DOI: <https://doi.org/10.5822/978-1-61091-525-0>
- Goličnik, B., Ward-Thompson, C. (2002). Opazovanje in vedenjski zemljevidi : metoda raziskovanja javnega odprtega prostora v mestu. *Urbani Izziv*, 13 (1), 82–89.
- Greenwood, S., Perrin, A., Duggan, M. (2016). *Social Media Update 2016*. (November).
- Han, H., Nguyen, T. V. T., Sahito, N. (2019). Role of Urban Public Space and the Surrounding Environment in Promoting Sustainable Development from the Lens of Social Media. *Sustainability*, 11 (21), 5967. DOI: <https://doi.org/10.3390/su11215967>
- Hawelka, B., Sitko, I., Beinat, E., Sobolevsky, S., Ratti, C. (2014). Geo-located Twitter as proxy for global mobility patterns. *Cartography and Geographic Information Science*, 41 (3), 260–271. DOI: <https://doi.org/10.1080/15230406.2014.890072>
- Iglesias-Sánchez, P. P., Correia, M. B., Jambrino-Maldonado, C., de las Heras-Pedrosa, C. (2020a). Instagram as a Co-Creation Space for Tourist Destination Image-Building: Algarve and Costa del Sol Case Studies. *Sustainability*, 12 (7), 2793. DOI: <https://doi.org/10.3390/su12072793>
- Jacobs, J. (1961). *The death and life of great American cities*. New York: Vintage Books.
- Jensens Tegnesteue, K. (2015). DOKK1 and the urban waterfront (p. 36). p. 36. [http://www.urbanmediaspace.dk/sites/default/files/pdf/uk\\_ums\\_haefte\\_2015.pdf](http://www.urbanmediaspace.dk/sites/default/files/pdf/uk_ums_haefte_2015.pdf), accessed on 15. 4. 2020.



- Martella, R., Clementini, E., Kray, C. (2019). Crowdsourcing geographic information with a gamification approach. *Geodetski vestnik*, 63 (2), 213–233. DOI: <https://doi.org/10.15292/geodetski-vestnik.2019.02.213-233>
- Richards, G., Wilson, J. (2004). The impact of cultural events on city image: Rotterdam, cultural capital of Europe 2001. *Urban Studies*, 41 (10), 1931–1951. DOI: <https://doi.org/10.1080/0042098042000256323>

- Žižek, A. (2018). Alternative methods for smart data collection: Public space usage analysis using data mining in social networks and custom information services. In P. Ašanin Gole (Ed.), *Turn innovative ideas into reality* (pp. 71–77). [https://www.fakulteta.doba.si/upload/turn\\_innovative\\_ideas\\_into\\_reality.pdf](https://www.fakulteta.doba.si/upload/turn_innovative_ideas_into_reality.pdf), accessed on 20. 3. 2020.



Pogačar K., Žižek A. (2020). Tracking spatiotemporal dynamics of the culture-led public space regeneration using geolocated social media posts. *Geodetski vestnik*, 64 (3), 376–388.

DOI: <https://doi.org/10.15292/geodetski-vestnik.2020.03.376-388>

**Kaja Pogačar**

*University of Maribor, Faculty of Civil Engineering,  
Transportation Engineering and Architecture  
Smetanova ulica 17, SI-2000 Maribor, Slovenia  
e-mail: kaja.pogacar@um.si*

**Andrej Žižek**

*DOBA Faculty of Applied Business and Social Studies Maribor  
Prešernova ulica 1, SI-2000 Maribor, Slovenia  
e-mail: andrej.zizek@doba.si*

# OCENA ZMOGLJIVOSTI VODOVODNEGA SISTEMA KOT STROKOVNA PODLAGA ZA ODLOČANJE O USMERJANJU RAZVOJA NASELIJ NA LOKALNI RAVNI\*

# ASSESSMENT OF WATER DISTRIBUTION SYSTEM CAPACITY AS SETTLEMENT- DEVELOPMENT DECISION- MAKING EXPERT BASIS AT THE LOCAL LEVEL\*

Ajda Kafol Stojanović, Daniel Kozelj, Maruška Šubic Kovač

\*Prevod članka / Translation of the paper DOI: 10.15292/geodetski-vestnik.2019.04.479-490

UDK: 349.414:628.1:711.4  
Klasifikacija prispevka po COBISS.SI: 1.01 (prevod/translation)  
Prispelo: 14. 8. 2019  
Sprejeto: 28. 7. 2020

DOI: 10.15292/geodetski-vestnik.2020.03.389-401  
SCIENTIFIC ARTICLE  
Received: 14. 8. 2019  
Accepted: 28. 7. 2020

## IZVLEČEK

Razvoj naselij je odvisen od številnih dejavnikov, med drugim od razpoložljivosti komunalne infrastrukture. V zvezi s tem znanstveniki ugotavljajo, da le integrirano načrtovanje komunalne infrastrukture in načrtovanje razvoja naselij ustvarjata razmere za trajnosten in ekonomičen urbani razvoj, kar pa se v praksi prostorskega načrtovanja v Sloveniji ne upošteva. V članku smo iskali odgovor na raziskovalno vprašanje: Na podlagi katerih podatkov in na podlagi kakšnega modela lahko v Sloveniji ocenimo zmogljivost vodovodnega sistema, ki je strokovna podlaga za odločanje o razvoju naselij na lokalni ravni? V ta namen smo analizirali rezultate že izdelanih raziskav z obravnavanega področja in oblikovali integriran dinamični model za oceno zmogljivosti vodovodnega sistema, ki izhaja iz simulacije gradnje na nepozidanih stavbnih zemljiščih in potreb novih porabnikov na teh zemljiščih po vodi. Hidraulična preveritev za oceno zmogljivosti vodovodnega sistema je izvedena z računalniškim programom Aquis 7.0. Glede na rezultate hidraulične preveritve so predlagani ukrepi in ocenjeni stroški ustreznih izboljšav obstoječega vodovodnega sistema oziroma njegove dograditve. Model za oceno zmogljivosti vodovodnega sistema je bil apliciran na primeru mestne občine Kranj.

## KLJUČNE BESEDE

prostorsko načrtovanje, strokovne podlage, razvoj naselij, zmogljivost vodovodnega sistema, komunalno gospodarstvo

## ABSTRACT

Settlement development depends on many factors, including the availability of municipal infrastructure. Scientists find that only integrated municipal infrastructure planning and settlement-development planning create conditions for sustainable and economical urban development. This is not taken into account in spatial planning practise in Slovenia. This paper seeks a response to the research question: Based on what data, and based on what model can the capacity of the water supply system in Slovenia be assessed, which constitutes the expert basis for settlement development decision-making at the local level. To this end, we analysed the results of relevant existing research and devised an appropriate integrated and dynamic model for assessing the capacity of the water supply system, which was generated from a simulation of construction on vacant building land and relevant water requirements of new water consumers. In assessing the capacity of the public water supply system, the Aquis 7.0 Software was applied in accomplishing the hydraulic system validation. In line with the hydraulic system validation results, the respective measures are proposed, and the costs of necessary improvements of the existing water supply system or its upgrading are envisaged. The model was applied on the example of the Municipality of Kranj.

## KEY WORDS

spatial planning, expert basis, settlement development, water distribution system capacity, municipal economics

## 1 INTRODUCTION

Slovenia, like many other Eastern European countries, switched to market economy in the early 1990s. In transition from the so-called “per agreement” spatial planning system to the spatial planning system in market economy, the foundations for preparing expert bases of decision-making in spatial planning process should have changed as well. Not only that this was not done, as noted by Niedziałkowski and Beunen (2019) for Poland, along with principles and tools of integrated spatial planning at local level, the long-term aspect of spatial planning was ignored, though it had existed in the spatial planning acts of the former socio-economic system.

Only after 27 years from transition to the new system, the importance of professionally substantiated spatial planning with clearly defined planning stages was highlighted in the Spatial Planning Act (ZUreP - 2, 2017). Introduced were feasibility studies (Rules on feasibility studies / Pravilnik o elaboratu ekonomike, 2019), on which basis the economics of planned spatial arrangements, including the municipal infrastructure, are verified, the investment is assessed, the sources of funding and stages of implementation of planned arrangements are defined. Such expert bases facilitate a more transparent decision-making as to settlement-development orientation, where the status of existing municipal infrastructure and its capacity are taken into account.

In this regard, the following research question was posed within the research study: Based on what data and what model may already within the spatial planning process be assessed the capacity of the water supply system in Slovenia that is applied as expert basis for decision-making on settlement development at local level?

The method of work and the structure of the article are designed in accordance with the research question. First, the research already done in this field is presented. Taking into account the results of research studies accomplished, and the situation in Slovenia, the method of assessing the capacity of the water supply system is presented. Possible improvements and upgrading of water supply system are defined, as well as the associated costs, and the envisaged stages of construction. To date, such assessments have at the stage of spatial act preparation not been conducted in Slovenia, though they constitute an important expert basis in settlement development planning, and vice versa (Kafol Stojanović, 2018).

## 2 SPATIAL PLANNING AND MUNICIPAL INFRASTRUCTURE

In the past, the dilemma existed as to whether or not the municipal infrastructure constituted one of the bases of dimensioning different functions and sizes of settlements and of determining the use of space. Nowadays, scientists (Brown, Keath and Wong, 2009) find that this does not apply. By consecutively taking into account the individual factors in settlement development planning, the conditions for sustainable and economical urban development are not created, and this is currently confirmed by the works of many authors (Kathlene et al., 2010; Beckwith, 2014; Grimaldi, Pellicchia and Fasolino, 2017; Sproul, 2017).

In their respective research studies, they highlight the importance of integrated municipal infrastructure planning and settlement development planning. Frequent problems mostly appear because the municipal infrastructure planning system does not take into account the planned use of space in a certain area, the

assessment of future service needs does not take into account the envisaged settlement development spatial plans, and because of insufficiency of spatial data on distribution of service needs and future investments (Grimaldi, Pellecchia and Fasolino, 2017). Similarly, the municipal infrastructure management elements should be taken into account in spatial planning and included in spatial plans (Kathlene et al., 2010).

Construction of municipal infrastructure is associated with relatively high costs, so it is extremely important for rational and economical planning to take into account not only its physical presence, but also its capacity, including the relevant overdimensioning. In our case, the capacity of municipal infrastructure is defined as the capability of municipal infrastructure to satisfy a certain scope of needs. The capacity of municipal infrastructure may be higher or lower than the existing or anticipated needs, or very rarely, it may be on an equal level.

In the municipal infrastructure planning process it is also important to assess the feasibility of different options for municipal infrastructure development, which means a more sustainable approach to planning and deciding on further settlement development (Mitchell, Mein and McMahon, 2001; Hardy, Kuczera and Coombes, 2005; Mitchell and Diaper, 2005; Brown, Keath and Wong, 2009). To this end, a number of water supply system design models have been developed that include different elements affecting their water balance.

First, static models of water supply system planning were developed that do not include the long-term aspect of settlement development due to population number changes and changes in the economy. Models suitable for long-term planning of water supply systems need to be dynamic and include social and economic variables (Mitchell et al., 2007). In a dynamic water supply planning model applied in Dublin, Willuweit and O'Sullivan (2013) combined the urban water balance concepts with the land use dynamics model and the climate model, thus providing a platform for the long-term planning of urban drinking water supply and water demands.

There are also integrated models of municipal infrastructure planning that include different variables and models from other fields (Schönhart et al., 2018). An example of integrated model is the DynaMind model used in a study by Mair et al. (2014), which comparatively analyses the impacts of new connections on changes to the existing sewage system.

The ViBe (Virtual Infrastructure Benchmarking) and DynaViBe (Dynamic Virtual Infrastructure Benchmarking) models play an important role in the field of models for municipal infrastructure planning and land use. The tools can be used to generate a network of urban water supply systems for an area, taking into account the population change and land use data. The models facilitate the inclusion of probability scenario analysis in the future (Sitzenfrei et al., 2010; Sitzenfrei, Möderl and Rauch, 2013).

Currently in Slovenia, the practice of inclusion of municipal infrastructure in spatial planning process is in its initial development phase. The applicable municipal spatial plans (Spatial Planning Act / Zakon o prostorskem načrtovanju. ZPNačrt, 2007) mostly do not adequately define the envisaged municipal infrastructure, including the envisaged dynamics of its construction as a consequence of the spatial development needs. This is normally planned only in the following phases of the detailed spatial planning, or when preparing the conceptual design or project documentation for the issuance of a building permit (MOP, 2018); the financial and time aspects are frequently ignored (Štravs, Dekleva and Ivanič, 2010).

For this reason, a first attempt of setting up the relevant data and creating an integrated dynamic model for deciding on the future settlement development at local level according to the status and capacity of the water supply system is presented hereinafter.

### 3 METHODOLOGY OF ASSESSMENT OF WATER SUPPLY SYSTEM CAPACITY AS EXPERT BASIS FOR SETTLEMENT DEVELOPMENT DECISION-MAKING

The model designing methodology for water supply system capacity assessment is designed in several steps. As first it is necessary to set up new data on envisaged surfaces for spatial development of settlements and the envisaged drinking water consumption. Hydraulic evaluation of the water supply system capacity is conducted and, based on hydraulic analysis results, the necessary capacity improvement measures are decided on, and costs of such measures are estimated.

The capacity of the water supply system, appropriate measures and related costs represent one of the criteria for defining the intended use of space and the stages of development of settlements. The capacity evaluation is periodically repeated according to the dynamics of changes in the development of settlements.

#### 3.1 Hypotheses and limitations

The water supply system capacity evaluation model is based on several hypotheses and limitations.

- In the research, we limited ourselves to drinking water supply activity and water supply system capacity assessment. The water supply system facilities and network are divided into the main, primary and secondary, which are entirely in public domain. Privately owned connections (tertiary network) are not included in the research.
- In contrast to many studies from the more arid areas of the world (Kathlene et al., 2010; Urban Water Management Plan, 2010; Sproul, 2017), we hypothesized that in the area under consideration, i.e. in the area of the selected local community, water resources are sufficiently abundant, and our interest was limited to water supply system capacity only. In the opposite case, the model should include an estimate of sufficient water quantity to supply new consumers.
- In capacity assessment, the essential input data constitute the existing and envisaged consumption of water in the selected and/or hypothesized period. Water consumption is not constant, but depends on numerous factors, changes during the year, month or day. Typology of settlements and density of built areas are strongly impacting the consumption of water (Rakar, 1980; Urban Water Management Plan, 2010; Kenway et al., 2013). To a large extent, water consumption depends also on activities and/or consumer groups, changes in numbers of population, climate conditions, impacts of infrastructure ageing, economic development, technological development, changes in land use, settlement sizes, standard of living, and behaviour of consumers (Petrešin, 1980; Panjan, 2005). In dimensioning the water supply system, we took into account fluctuations in water consumption during the day, calculated on the basis of the coefficient of diurnal water consumption, which represents the ratio between the maximum daily and average daily water consumption.
- Initial data for deciding on settlement development at local level include also the envisaged areas of unbuilt building land, and areas envisaged for densification, renovation or restructuring. Included in the analysis is the unbuilt building land that is not identified in the existing municipal spatial

planning acts and/or in other building land records. In their definition within the research we took into account the detailed intended use of the space, the spatial implementing conditions, the size, and legal regimes within the relevant areas of unbuilt building land. The envisaged water consumption is estimated on the basis of the envisaged size and activity of unbuilt building land, taking into account the hypothesis that the relative existing water consumption per capita will not increase in the future.

- The existing water supply system capacity is the key initial point in the process of spatial planning and deployment of activities in space (Haynes et al., 1984). The capacity of a water supply system can be verified by hydraulic evaluations of the existing water supply system, i.e. by simulation of actual operation of the water supply system, using mathematical models. The basic condition for conducting different simulations is an established and calibrated model of the water supply system (Walski et al., 2003). To assess the water supply system capacity, we applied in the research the Aquis 7.0 (Petrol d. d., 2018) computer software.
- An important element in verifying hydraulic conditions in the network in the future, which frequently constitutes an unknown, is the future development by stages of settlements within the area of local community (Haynes et al., 1984). Dependent on the envisaged development by stages are the scenarios for which the water supply system capacity is subjected to hydraulic verification. Water supply planning models are usually applied for analysing different planned scenarios as to the water supply system capacity: current status, envisaged status in five years, ten years, twenty years, and the status when the envisaged water supply system capacity is fully attained (Planning Guidelines ..., 2010). Mutschman and Stimmelmayer (2011) indicate that periods coinciding with the national and municipal plans should be selected for scenarios. It is reasonable to analyse water supply system capacity first, provided that all the envisaged construction is instantly implemented. If the water supply system capacity is not sufficient for all the envisaged construction, then verifications are to be conducted for every five years at least. The subsequent planning by stages of settlement development depends on when all the system capacities are filled.
- In assessment of costs for implementation of measures enabling the envisaged settlement development, only the investment costs for the implementation of measures and for construction of new network within the water supply system shall be taken into account.

### 3.2 Model for water supply system capacity assessment and for decision on development of settlements in the selected local community

Step 1: Estimation of envisaged water consumption according to construction by stages.

First, the extent of unbuilt building land in the local community shall be determined. The existing records do not contain such data, and thus, for the purposes of this research, we defined the unbuilt building land in accordance with the law (ZUreP-2, 2017). These are plots, where it is possible to construct facilities requiring municipal infrastructure for their operation (ZUreP-2, 2017) or, in our case, drinking water supply. Areas in which the detailed intended land use does not envisage the construction of buildings (for instance, green surface areas, and transport infrastructure areas) are not taken into account. Nor are taken into account the areas, in which the legal regimes, area size, or other spatial implementing conditions from the spatial act do not permit the construction of buildings.



For each area of unbuilt building land, the envisaged water consumption is estimated on the basis of the existing average annual water consumption in comparable built-up areas. The comparability of areas is determined according to the location of the area, the envisaged intended use of space, spatial implementation conditions, area size, the envisaged activities, and the type of construction.

Step 2: Hydraulic verification of the existing water supply system according to the estimated water consumption.

The hydraulic verification is conducted using the Aquis 7.0 (Petrol d. d., 2018) computer software. A point layer of new water consumers is prepared (obtained in step 1), then the points are connected on the shortest distance to the existing water supply network according to the Thiessen polygon principle. Fluctuations in water consumption during the day, i.e. coefficients of diurnal water consumption, are defined.

The hydraulic verification shall be performed for the hour in the day, when the consumption is highest, or when the coefficient of non-uniformity of hourly consumption is highest, in the following order:

- Hydraulic evaluation of the existing water supply system (without new consumers).
- Hydraulic evaluation of the existing water supply system with added new water consumers.
- Adequacy verification of water tank capacities in terms of additional water consumption.
- Adequacy verification of the existing water supply system for fire flow loading conditions at average daily water consumption on the day with the highest annual water consumption, i.e. the highest annual unevenness coefficient.

Step 3: Deciding on measures to cover water needs, and estimation of costs.

Results of hydraulic evaluation of the existing water supply system show whether the capacity of the existing water supply system meets the increased needs even after connection of envisaged new water consumers. If the capacity of the water supply system as a whole is insufficient, the construction of a new water supply network is envisaged and, where applicable, incorporation of new water source or water tanks in the system. In case of insufficient capacity of a certain network part, concrete improvements are envisaged there, including installation or replacement of pumping units, replacement of individual pipeline sections with larger diameter pipes, and similar. All measures are cost-related.

The research takes into account the results of studies (Rakar, 1979; Rakar and Makuc, 1985; Komunala Kranj, 2018), which reflect the situation in Slovenia. The cost of water supply system construction consists of the costs of material, excavation, backfilling and laying (work). It depends on the location of and type of soil, as well as the length of the pipe and its diameter.

Step 4: Inclusion of results of estimated water system capacity and costs into decisions on settlement development at local level.

Results concerning the estimated water supply system capacity, measures and costs for ensuring the envisaged water consumption are taken into account in defining the new intended use of space or spatial implementing conditions in the spatial planning process and in planning settlement development by stages. Through properly planned settlement development stages, the envisaged water consumption needs may be covered, and costs for ensuring the envisaged water consumption may be optimised, so that the envisaged needs may be covered with minimum costs.

These four steps are repeated every five years at least, so that the dynamics of settlement development changes at the local level is included in the model.

#### 4 APPLICATION OF THE MODEL FOR EVALUATION OF WATER SUPPLY SYSTEM CAPACITY: EXAMPLE OF WATER SUPPLY SYSTEM IN THE MUNICIPALITY OF KRANJ

Evaluation of water supply system capacity and of costs for improvement of the existing water supply system and its possible expansion was prepared for the Municipality of Kranj. Municipality of Kranj is one among eleven city municipalities of Slovenia, it is located in the Gorenjska statistical region in the west of Slovenia, and has an area of 151 km<sup>2</sup>; in 2018, it had a population of 55,795 (SORS, 2019). Komunala Kranj, a public utility company, provides drinking water in seven communities (the Municipality of Kranj, and the communities of Naklo, Preddvor, Šenčur, Jezersko, Cerklje na Gorenjskem, and Medvode), while managing 19 water supply systems.

First, unbuilt building land within the Municipality of Kranj was determined according to the listed criteria, estimating the envisaged water consumption on such land. Hydraulic evaluation of water supply system was conducted, taking into account that all the existing and envisaged new water consumers on unbuilt building land would be connected to the existing water supply system. Hydraulic evaluation of the system was done based on verification of pressure conditions in the existing water supply system, and on verification of adequate water tank capacity. Additionally, hydraulic evaluation of pressure conditions for fire flow conditions was conducted as well.

Through hydraulic evaluation of existing water supply system, the difference between the pressure in the system at existing water consumers and upon connection of envisaged new water consumers was determined. This is important information, on which basis the possible inadequate parts of the system are identified in terms of pressure and reasons for inadequate properties (Figure 1). At most water supply system junctions, these differences were minimal (maximum 0.1 bar) and pressures within the adequate range from 2.5 to 6 bar. Greater differences were found only in junctions of the network part close to Hrastje business zone, where upon connection of new consumers the pressure dropped by 0.86 and down to 0.78 bar. Noticeable difference in pressure was recorded also in a small area in the north of the Municipality of Kranj, where the pressure increased by 0.25 bar.

Hydraulic evaluation of pressure conditions during fire flow loading conditions showed in one area that due to large flows through a secondary pipe of smaller diameter (DN 80) the energy losses in that pipeline section increased, with resulting pressure in the system that was too low. Thus, in the pipeline section with inadequate conductivity, the existing pipes shall need to be replaced for pipes of larger diameters.

Based on hydraulic evaluation within the research we found that the existing water supply system of the Municipality of Kranj can withstand an increase in drinking water consumption even when all new consumers are connected to it. So there is no need for construction of new main lines, primary lines or integration of new water sources or water tanks into the water supply system. Thus, no additional verification of short-term scenarios, i.e. in every five years, was reasonable in this case. To connect new consumers, a connection to the network only shall need to be constructed, including the upgrading of the existing secondary network, or upgrading and additions to the existing secondary network.

Costs of envisaged measures for individual areas of unbuilt building land were calculated based on hydraulic evaluation results and with the help of average lengths of water supply network per hectare of gross building land.

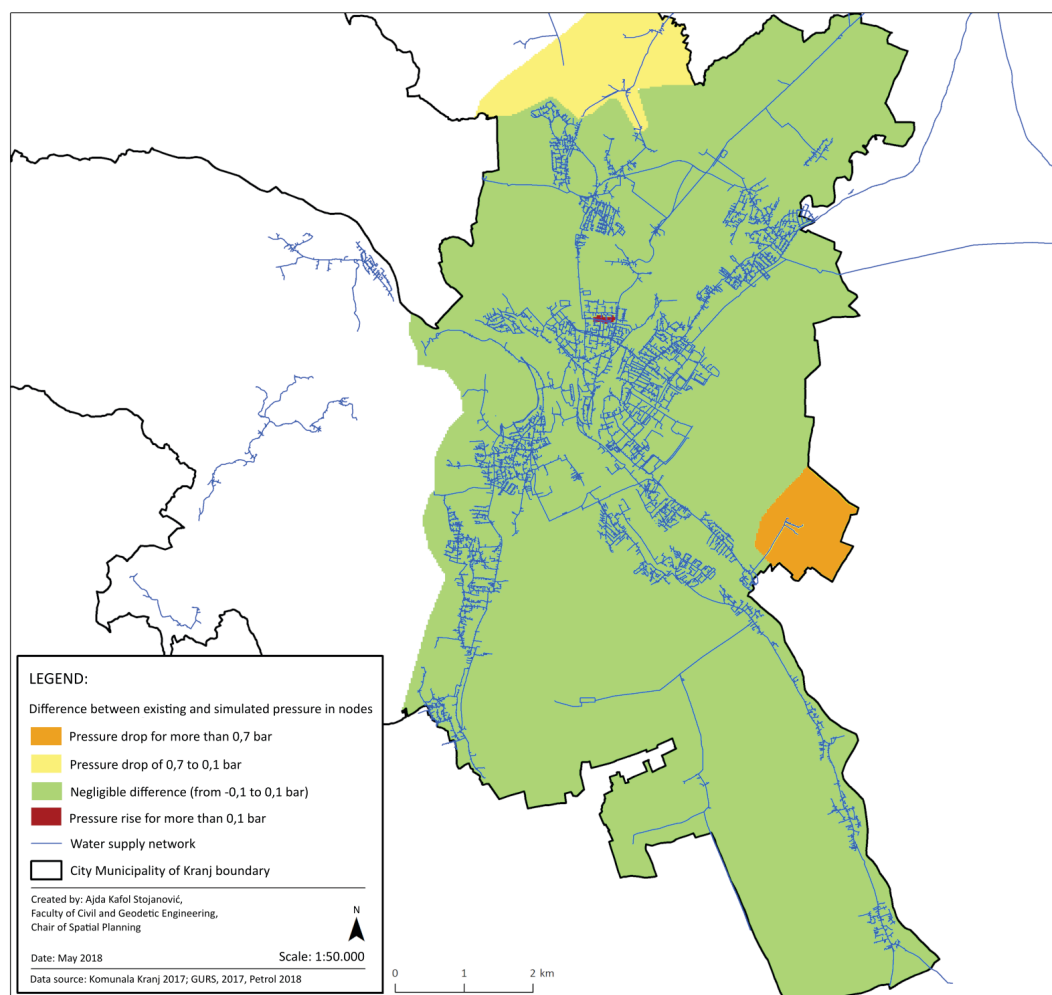


Figure 1: Difference between existing and simulated pressure in water supply system, arising from connection of new consumers on currently unbuilt building land.

Areas (Figure 2) marked with numbers 1–4 constitute the areas with highest envisaged drinking water consumption. For these areas, the estimated costs of investment into the existing water supply network are shown in Table 1. As many as 78 % of unbuilt building land areas in the Municipality of Kranj do not require any additional investment; connection to existing network is possible by constructing a connection and, where applicable, installing a pressure regulation instrument at the outlet point. In the remaining 22 % of unbuilt building land areas, the secondary water supply network shall need to be constructed, or replaced, for which the construction cost has been estimated based on locality, soil type, and pipe length and diameter.

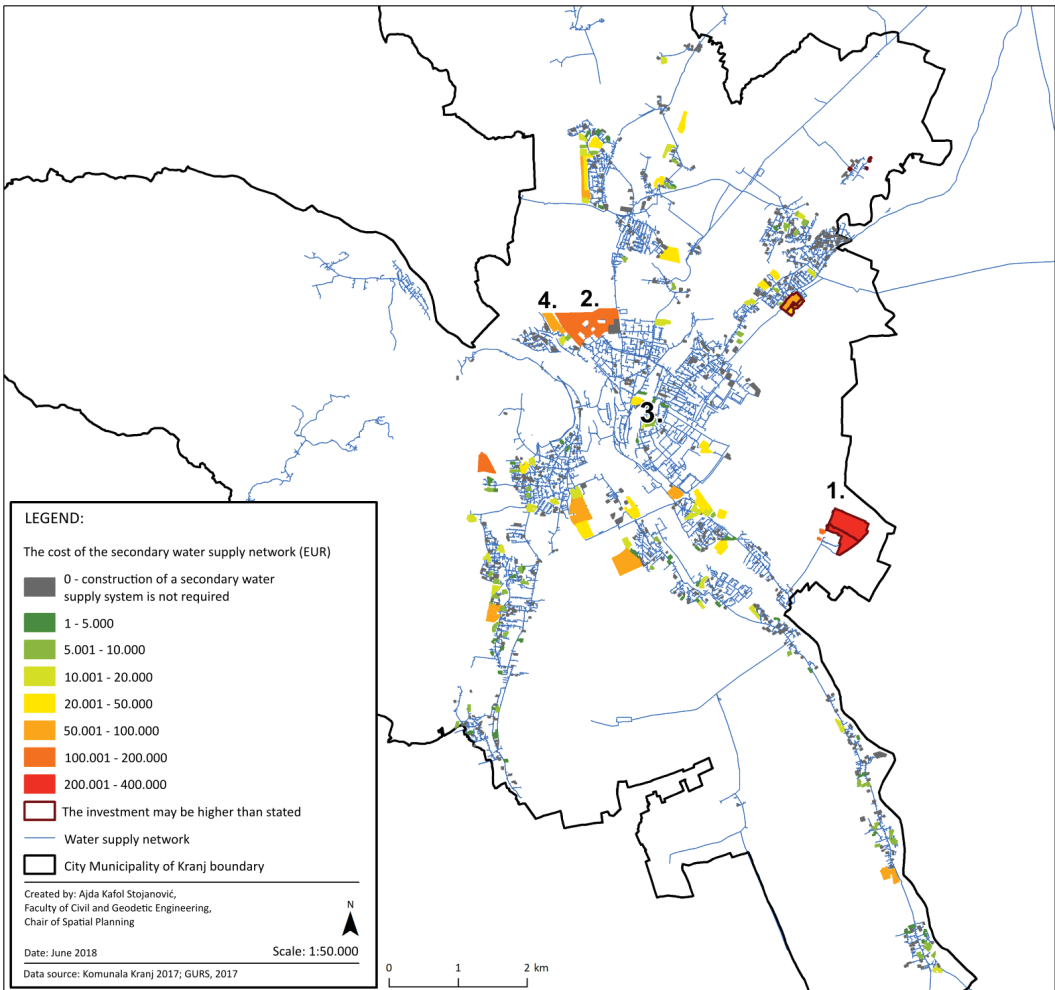


Figure 2: Areas of unbuilt building land according to the class of estimated costs of construction of a secondary water supply system.

Table 1 shows areas with envisaged maximum drinking water consumption, and envisaged measures and costs, which constitute the quantitative basis for reciprocal comparison of areas, and the expert basis for deciding on development by stages of individual areas or settlements, and for planning the water supply system development. In addition to total costs, in the case of deciding on development by stages of settlements, also the relative costs relevant to the number of newly supplied inhabitants per particular areas of unbuilt building land, and other similar relative costs would be possible to define, depending on spatial policy objectives within the local community.

Table 1: Estimation of measures, including costs, for areas with envisaged maximum water consumption.

|                                            | 1. 'Hrastje' business zone | 2. 'Zlato polje' education and other central activities | 3. 'Planina' residential community | 4. 'Struževo' business, trade, supply and service activities |
|--------------------------------------------|----------------------------|---------------------------------------------------------|------------------------------------|--------------------------------------------------------------|
| Average drinking water consumption (L / s) | 2.03                       | 1.69                                                    | 0.78                               | 0.73                                                         |
| Envisaged pipeline - pipe length (m)       | 3,585                      | 2,563                                                   | 347                                | 624                                                          |
| Envisaged pipeline - pipe DN (mm)          | 125 and 100                | 125 and 100                                             | 100                                | 100                                                          |
| <b>Indicative costs (EUR)</b>              | <b>430,720</b>             | <b>316,500</b>                                          | <b>64,000</b>                      | <b>71,500</b>                                                |

5 DISCUSSION AND CONCLUSIONS

The research provides answers to the following questions: (1) based on what data, and (2) based on what model can we assess water supply system capacity in Slovenia that is applied as expert basis for deciding on settlement development at local level already within the spatial planning process, as follows:

(1.) To assess water supply system capacity, we need data on the envisaged unbuilt building land areas, and on estimated drinking water consumption by inhabitants envisaged for these areas. Currently, data on envisaged unbuilt building land areas cannot be obtained from any existing database, so we have estimated them for the purposes of this research. Estimation of envisaged water consumption in individual areas is difficult in the early spatial planning process stages due to unknown numbers of potential inhabitants or water consumption in each area. Such estimation is associated with uncertainty and risk. Numbers of inhabitants and their water needs were estimated with the help of data on unbuilt building land areas for each detailed intended land use, on envisaged activity, and on current average water consumption in comparable areas.

(2.) Based on the presented integrated dynamic model, the water supply system capacity may be estimated. The model is so designed as to allow continuous system capacity monitoring, and system free capacity monitoring. The model may be applied also for planning of settlement development by stages, and for verification of cost-effectiveness of planned arrangements. Hydraulic evaluation results within the model constitute the basis for estimation of measures, and of costs of their implementation. Additionally, they constitute an adequate expert basis for decision-making within the spatial planning process. It is reasonable that in interpreting the results obtained, experts in spatial planning cooperate with those in water supply system design and management.

Key added value of hydraulic evaluation in the model presented is the identification of weak points of a water supply system as a whole, at different numbers of new consumer connections. In phases of spatial planning in greater detail, with particular areas in focus, this is frequently overlooked. It is reasonable therefore that hydraulic verification is conducted several times, for different scenarios of development in space, simultaneously with spatial act preparation, settlement planning and other activities in space, at the level of the entire local community. Water supply system capacity is not the only factor influencing the decisions on settlement development, and results of analysis of water supply system capacity are only one of expert bases for decision-making in spatial planning process. The very decision on settlement

development depends on many other factors (Fischel, 1999). According to Deng et al. (2013), the decisions on long-term projects, as in infrastructure, are difficult to make or linked to uncertainties and risks on account of climate changes and rapid urbanization.

To integrate such models into spatial planning practice and into water supply system planning, the appropriate, comparable and accessible set of input data should be set up for at least: unbuilt building land areas; existing drinking water consumption quantities per activity on built building land; and costs of construction / replacement of individual parts of the water supply system. A greater circle of professional public should get familiarised with hydraulic verification, and an interdisciplinary expert team should be set up for interpreting the results in conjunction with settlement development in local community. The model presented could be part of expert bases in preparing municipal spatial plans, as for instance the feasibility study (Rules on feasibility studies / Pravilnik o elaboratu ekonomike, 2019), within which, and in conjunction with the building land records (ZUreP-2, 2017), the data necessary for application of the aforementioned model would be set up.

On the example of water supply system capacity analysis in the Municipality of Kranj it was found that all new water consumers can be connected to the existing water supply system. Construction by phases in terms of water supply system capacity could be conducted with regard only to different costs of investment into the existing water supply system, or with regard to construction of a new (secondary) water supply network. Should the existing water supply system capacity be insufficient, the procedure would need to be repeated by hypothesizing different settlement development scenarios, and by analysing, what period of time would elapse for the water supply system to reach its full capacity. This would impact decisions as to which area to build in first.

Prior to incorporation of municipal infrastructure capacity assessment into spatial planning procedures for the purposes of reasonable settlement development, it would be necessary to conduct subsequent research so as to verify the assessment methods for areas under renovation, concentration or restructuring, which are important in terms of changing municipal infrastructure needs in the future. It is reasonable to develop and test the capacity assessments for other types of municipal infrastructure as well, especially for the sewage system and power supply system. Owing to the nature of municipal systems that exceed the municipality boundaries, the municipal infrastructure planning and capacity verification is reasonable at regional level as well.

## Acknowledgements

The research was created in cooperation with the public utility company 'Komunala Kranj d. o. o.' and the 'Petrol d. d.' company, which enabled access to data and use of the Aquis 7.0 computer software.

## Literature and references:

- Beckwith, D. (2014). Integrating land use and water planning. *Journal – American Water Works Association*, 106 (9), 75–79. DOI: <https://doi.org/10.5942/jawwa.2014.106.0131>
- Brown, R. R., Keath, N., Wong, T. H. F. (2009). Urban water management in cities: historical, current and future regimes. *Water Science & Technology*, 59 (5), 847–855. DOI: <https://doi.org/10.2166/wst.2009.029>
- Deng, Y., Cardin, M.-A., Babovic, V., Santhanakrishnan, D., Schmitter, P., Meshgi, A. (2013). Valuing flexibilities in the design of urban water management systems. *Water Research*, 47 (20), 7162–7174. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.watres.2013.09.064>



- Fischel, A. W. (1999). Zoning and Land Use Regulation, Boudewijn, Bouckaert and Gerrit De Geest, (Ed.) Encyclopedia of Law and Economics, Volume II. Civil Law and Economics, Cheltenham, Edward Elgar, ISBN 1 85898 985X, <https://www.dartmouth.edu/~wfischel/Papers/WAF-zoning%20ELepd.pdf>, accessed 12. 4. 2019.
- Grimaldi, M., Pellicchia, V., Fasolino, I. (2017). Urban Plan and Water Infrastructures Planning: A Methodology Based on Spatial ANP Sustainability, 9 (5), 1–23. DOI: <https://doi.org/10.3390/su9050771>
- Hardy, M. J., Kuczera, G., Coombes, P. J. (2005). Integrated urban water cycle management: the UrbanCycle model. Water Science and Technology, 52 (9), 1–9. DOI: <https://doi.org/10.2166/wst.2005.0276>
- Haynes, K. E., Krmenc, A. J., Georgianna, T. D., Whittington, D., Echelberger, W. F. (1984). Planning for Water Capacity Expansion. Journal of the American Planning Association, 50 (3), 359–364. DOI: <https://doi.org/10.1080/01944368408976604>
- Kafol Stojanović, A. (2018). Ocena kapacitete vodovodnega sistema kot strokovna podlaga v procesu prostorskega načrtovanja [Estimation of Water Distribution System Capacity as an Expert Basis for Spatial Planning Process]. Master Thesis. Ljubljana: University of Ljubljana. <https://repozitorij.uni-lj.si/IzpisGradiva.php?id=103594>, accessed 18. 2. 2019.
- Kathlene, L., Lynn, J., Greenwade, A., Sullivan, W., Lung, Q. (2010). Colorado Review: Water Management and Land Use Planning Integration. Denver: Center for Systems Integration.
- Kenway, S. J., Turner, G. M., Cook, S., Baynes, T. (2013). Water and energy futures for Melbourne: implications of land use, water use, and water supply strategy. Journal of Water and Climate Change, 5 (2), 163–175. DOI: <https://doi.org/10.2166/wcc.2013.188>
- Komunala Kranj (2018). Stroški gradnje in obnove vodovoda. Personal communication, accessed 30. 5. 2018.
- Mair, M., Mikovits, C., Sengthaler, M., Schöpf, M., Kinzel, H., Ulrich, C., Kleidorfer, M., Sitzenfri, R., Rauch, W. (2014). The application of a Web-geographic information system for improving urban water cycle modelling. Water Science & Technology, 70 (11), 1838–1846. DOI: <https://doi.org/10.2166/wst.2014.327>
- Mitchell, V. G., Mein, R. G., McMahon, T. A. (2001). Modelling the urban water cycle. Environmental Modelling & Software, 16 (7), 615–629. DOI: [https://doi.org/10.1016/S1364-8152\(01\)00029-9](https://doi.org/10.1016/S1364-8152(01)00029-9)
- Mitchell, V. G., Diaper, C. (2005). UVQ: A tool for assessing the water and contaminant balance impacts of urban development scenarios. Water Science & Technology, 52 (12), 91–98. DOI: <https://doi.org/10.2166/wst.2005.0435>
- Mitchell, V. G., Duncan, H., Inman, M., Rahilly, M., Stewart, J., Vieritz, A., Holt, P., Grant, A., Fletcher, T. D., Coleman, J., Maheepala, S., Sharma, A., Deletic, A., Breen, P. (2007). State of the Art Review of Integrated Urban Water Models. In Novatech 2007, Workshop 2, GRAIE, Lyon, France. <http://hdl.handle.net/2042/25394>, accessed 15. 1. 2019.
- Ministrstvo za okolje in prostor, Direktorat za prostor, graditev in stanovanja (2018). Elaborat ekonomike. Personal communication, accessed 4. 6. 2018.
- Mutschmann, J., Stimmelmayer, F. (2011). Taschenbuch der Wasserversorgung. Wiesbaden: Vieweg Teubner Verlag.
- Niedziałkowski, K., Beunen, R. (2019). The risky business of planning reform – The evolution of local spatial planning in Poland. Land Use Policy, 85, 11–20. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.landusepol.2019.03.041>
- Panjan, J. 2005. Osnove zdravstveno tehnične infrastrukture: vodovod in čiščenje pitnih voda, odvodnjavanje in čiščenje onesnaženih voda in komunalni odpadki. Ljubljana: University of Ljubljana, Faculty of Civil and Geodetic Engineering, Department of Civil Engineering.
- Petrešin, E. (1980). Vodovodni sistemi. Ljubljana: [s. n.].
- Petrol d. d. (2018). Vodovodni sistem v Mestni občini Kranj in hidravlični model vodovodnega sistema Kranj. Personal communication. (1. 3. 2018, 10. 3. 2018, 28. 3. 2018, 15. 5. 2018 in 8. 6. 2018.)
- Pravilnik o elaboratu ekonomike [Rules on feasibility studies]. Official Gazette of the Republic of Slovenia, No. 45/2019, 12. 7. 2019.
- Rakar, A., Makuc, J. (1985). Valorizacija objektov in naprav komunalne hidrotehnike na osnovi podatkov GPKN – primer mesta Maribor. Geodetski vestnik, 29 (2-3), 91–104.
- Rakar, A. (1979). Nekateri vidiki rasti urbanih aglomeracij [Some aspects of urban agglomeration growth]. Doctoral Dissertation. Ljubljana: Edvard Kardelj University in Ljubljana, Faculty of Architecture, Civil and Geodetic Engineering.
- Schönhart, M., Trautvetter, H., Parajka, J., Blaschke, A. P., Hepp, G., Kirchner, M., Mittera, H., Schmida, E., Strennb, B., Zessner, M. (2018). Modelled impacts of policies and climate change on land use and water quality in Austria. Land Use Policy, 76, 500–514. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.landusepol.2018.02.031>
- Sitzenfrei, R., Möderl, M., Rauch, W. (2013). Assessing the impact of transitions from centralised to decentralised water solutions on existing infrastructures – Integrated city-scale analysis with ViBe. Water Research, 47 (20), 7251–7263. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.watres.2013.10.038>
- Sitzenfrei, R., Fach, S., Kleidorfer, M., Ulrich, C., Rauch, W. (2010). Dynamic virtual infrastructure benchmarking: DynaViBe. Water Science and Technology: Water Supply, 10 (4), 600–609. DOI: <https://doi.org/10.2166/ws.2010.188>
- Sproul, K. (2017). Chapter 594: Making California's Water Supply Planning Process More Fluid with Large-Scale Development Projects. University of the Pacific Law Review, 48, 647–669.
- SORS (2019). Statistical Office of the Republic of Slovenia. SiStat. <https://pxweb.stat.si/SiStat>, accessed 20. 5. 2018.
- Štravs, L., Dekleva, J., Ivanič, L. (2010). Opremljanje stavbnih zemljišč. Komunalni prispevek, pogodba o opremljanju. Ljubljana: GV založba.
- Urban Water Management Plan. Section 2: Land Use and Water Demand. (2010). Vallecitos Water District, 1–15. <http://vwd.org/home/showdocument?id=869>, accessed 20. 5. 2018.
- Walski, T. M., Chace, D. V., Savic, D. A., Grayman, W., Beckwith, S., Koelle, E. (2003). Advanced Water Distribution Modelling and Management. Civil and Environmental Engineering and Engineering Mechanics Faculty Publications, 18. [https://ecommons.udayton.edu/cee\\_fac\\_pub/18](https://ecommons.udayton.edu/cee_fac_pub/18), accessed 20. 5. 2018.
- Willuweit, L., O'Sullivan, J. J. (2013). A decision support tool for sustainable planning of urban water systems: Presenting the Dynamic Urban Water Simulation Model. Water Research, 47 (20), 7206–7220. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.watres.2013.09.060>

ZPNačrt (2007). Zakon o prostorskem načrtovanju [Spatial Planning Act]. Official Gazette of the Republic of Slovenia, No. 33/2007, 70/2008 – ZVO-1B, 108/2009, 80/2010 – ZUPUDPP, 43/2011 – ZKZ-C, 57/2012, 57/2012 – ZUPUDPP-A,

109/2012, 76/2014 – odl. US, 14/2015 – ZUUJFO in 61/2017 – ZUreP-2.

ZUreP-2 (2017). Zakon o urejanju prostora [Spatial Planning Act]. Official Gazette of the Republic of Slovenia, No. 61/2017.



Kafol Stojanović A., Kozelj D., Šubic Kovač M. (2020). Assessment of water distribution system capacity as settlement-development decision-making expert basis at the local level. *Geodetski vestnik*, 64 (3), 389–401.

DOI: <https://doi.org/10.15292/geodetski-vestnik.2020.03.389-401>

**Ajda Kafol Stojanović, master of spatial planning**

Geodetik Institut of Slovenija  
Jamova cesta 2, SI-1000 Ljubljana, Slovenia  
e-mail: [ajda.kafol@gis.si](mailto:ajda.kafol@gis.si)

**assoc. prof. Maruška Šubic Kovač, Ph.D.**

University of Ljubljana, Faculty of Civil and Geodetic Engineering  
Jamova cesta 2, SI-1000 Ljubljana, Slovenia  
e-mail: [maruska.subic-kovac@fgg.uni-lj.si](mailto:maruska.subic-kovac@fgg.uni-lj.si)

**asist. Daniel Kozelj, Ph.D.**

University of Ljubljana, Faculty of Civil and Geodetic Engineering  
Jamova cesta 2, SI-1000 Ljubljana, Slovenia  
e-mail: [daniel.kozelj@fgg.uni-lj.si](mailto:daniel.kozelj@fgg.uni-lj.si)



# MREŽA MEJA IN MEJNIKOV: THE NETWORK OF NOMINACIJA ZA UNESCOVO BOUNDARIES AND ITS SVETOVNO DEDIŠČINO MONUMENTS: UNESCO WORLD HERITAGE NOMINATION

*Anka Lisec, Jože Dajnko, Erna Flogie Dolinar, Marjan Čeh*

## 1 UVOD

UNESCO (angl. *United Nations Educational, Scientific and Cultural Organization*) je Organizacija Združenih narodov za izobraževanje, znanost in kulturo, katere konvencija o svetovni dediščini je zagotovila ena izmed najbolj prepoznavnih med mednarodnimi konvencijami. Sama konvencija je namenjena varovanju kulturnih in naravnih znamenitosti, ki imajo izredno univerzalno vrednost na mednarodni ravni. Spomeniki in spomeniška območja, ki so na Unescovem seznamu, ne pomenijo le identitete, prestiža ali promocije države, temveč lahko odločilno vplivajo na razvoj kulturnega turizma, posebej izrazito v manjših državah z manj prepoznavno identiteto (Stokin, 2016). Med izjemno svetovno dediščino lahko spadajo tudi tehnološki dosežki, a je bilo že v letu 2004 izpostavljeno, da jih je na Unescovem seznamu žal premalo (ICOMOS, 2004).

To velja tudi za dosežke na področju geodezije. Kljub izredno kompleksnemu področju z dolgo tradicijo in izjemnemu pomenu na svetovni ravni vse do leta 2005 na Unescovem seznamu ni bilo nobenega vnosa s področja geodezije in zemljemerstva. Nanj je bila kot prvi izjemen dosežek uvrščena Struvejeva triangulacija. Ta je bila izvedena na pobudo nemško-ruskega astronoma in geodeta Friedricha Georga Wilhelma von Strujeja, ki je deloval na Univerzi v Tartuju in je iskal načine za čim natančnejšo določitev oblike in velikosti Zemlje. Na podlagi obsežne triangulacije v letih med 1816 in 1855 je bila določena dolžina poldnevnikar, ki se v razdalji 2821,9 kilometra razteza med črnomoško obalo (Staro-Nekrasovka, Ukrajina) in severom Norveške (Hammerfest). Glavni razlog za tako obsežen projekt je iskati v želji takratnih evropskih vladarjev, da se obdobje miru po Napoleonovih vojnah izkoristi za temeljito razmejitev in kartiranje mej med državami, vendar je bila oblika Zemlje, pomembna za natančno merjenje razdalj na površju, takrat še neznanka. Ruski car Aleksander I. je tako dal Strujeju na voljo sredstva, da najde odgovor na to vprašanje in vzpostavi ustrezno dolgo mrežo triangulacijskih točk vzdolž poldnevnikar. Trinagulacijska mreža je obsegala 265 triangulacijskih točk, ki so sestavljale 258 trikotnikov. Danes jih je ohranjenih 34 v vseh desetih državah, ki pa tudi po mnenju Unesca pričajo o neverjetnem znanstvenem dosežku človeštva (UNESCO, 2005).

Tako imenovani Strujejev lok (angl. *Struve Arc*) je do danes edini spomenik s področja geodezije, ki je uvrščen na Unescov seznam. Ravno zaradi tega je bila – ne le v geodetski stroki, ampak tudi širše – z izjemnim zanimanjem sprejeta pobuda za razglasitev geodetske terenske kulturne dediščine kot Unesco-

ve svetovne kulturne dediščine. Navedena pobuda, ki prihaja iz Avstrije, nas sicer spremlja že nekaj let (Waldhäusel et al., 2014; Waldhäusel, König in Mansberger, 2016), Slovenija se ji je prek Zveze geodetov Slovenije priključila leta 2017, in sicer na povabilo avstrijskega združenja geodetov ÖVG (nem. Österreichische Gesellschaft für Vermessung und Geoinformation), ki tesno sodeluje z državno geodetsko upravo BEV (nem. Bundesamt für Eich- und Vermessungswesen) in tamkajšnjimi univerzami (TU Dunaj in BOKU). Za samo nominacijo pri Unescu se v koordinaciji avstrijske ekipe pripravlja obsežna tematska študija (Waldhäusel et al., 2019), kjer je predvideno, da se s svojimi predlogi in vsebinami vključijo tudi države, ki bodo pristopile že v prvi fazi. Ciljne države so evropske države, ki so med prvimi na svetu sistematično za celotno ozemlje vzpostavile parcelno utemeljen zemljiški kataster, ki temelji na kakovostni geodetski osnovi, in kjer se je koncept katastra ohranil vse do danes (s tem se poudarjata tradicija in kulturni pomen). Na predlog pobudnice, to je Avstrije, so to predvsem države, v katerih je bil v začetku 19. stoletja vzpostavljen franciscejski kataster. V ta namen je Zveza geodetov Slovenije že navezala stik z ministrstvom za kulturo RS. Predlogi dediščine in utemeljitev morajo biti pripravljeni v skladu z zahtevami mednarodnega sveta za spomenike in spomeniška območja ICOMOS (angl. *International Council on Monuments and Sites*), ki podaja metodološke okvire ohranjanja in zaščite svetovno pomembne dediščine v okviru pobude.

## 2 UTEMELJITEV ZA NOMINACIJO PRI UNESCO

Zamisli za nominacijo za uvrstitev mreže mejnikov in geodetskih točk na Unescov seznam svetovne dediščine izvira iz izjemnega dosežka geodetske stroke in na sploh družbe, ki je s celovitim in strokovnim pristopom zagotovila na udeležbi posestnikov utemeljeno ureditev posestnih meja. Meje z mejniki transparentno opredeljujejo prostorsko razsežnost lastninske pravice na zemljiščih, ki poleg »razmejevanja« ozemlja posamezne države pomembno prispevajo k dobrim medsosedskim odnosom, s tem pa h kakovosti življenja. Pobuda je utemeljena na Splošni deklaraciji o človekovih pravicah Združenih narodov, ki je bila sprejeta 10. decembra 1948 na generalni skupščini Združenih narodov in med drugim navaja pravico do lastništva premoženja. S sistemskim pristopom je geodetska stroka torej že pred dvema stoletjema zagotovila celovito razmejevanje ozemlja znotraj držav in tudi med državami, kar je izrednega pomena tudi za ohranjanje miru. Z vidika izjemnega dosežka stroke in pomena kulturne dediščine so v okviru pobude predlagani trije tematski sklopi materializirane katastrsko-geodetske kulturne dediščine, ki so (Lisec et al., 2020):

- izjemna katastrska mejna znamenja, ki simbolno predstavljajo mrežo meja in praviloma izkazujejo dogovor med sosedmi;
- izjemna geodetska znamenja (geodetske točke), ki simbolno predstavljajo geodetsko infrastrukturo za izvedbo kakovostne izmere in kartiranja teh meja;
- izjemna stavbna dediščina, povezana z zemljiških katastrom in sistemom zemljiške administracije.

Pomembno merilo pri pripravi predlogov posameznih spomenikov, ki bi bili uvrščeni na Unescov seznam, je, da so spomeniki dobro ohranjeni, mejniki naj bi imeli še vedno funkcijo mejnega znamenja, v skladu z zahtevami varovanja kulturne dediščine pa morajo imeti predlagani spomeniki tudi institucionalnega skrbnika, ki skrbi za njihovo vzdrževanje in obnovo. Dodatno je bil na delovnem sestanku novembra 2019 na Dunaju podan predlog, da se med spomenike ne uvrščajo mejniki državnih meja, še posebej ne, kjer te niso urejene in so predmet dogovarjanj, morda celo sporov.

### 3 GEODETSKA KULTURNA DEDIŠČINA V SLOVENIJI

Kljub izredni kulturni dediščini je zanimivo, da je na Slovenskem o mejnih katastrskih znamenjih malo napisanega. O zgodovini kartiranja slovenskega ozemlja sicer govori monografija Korošca (1978), ki predstavlja pomembne mejnike na področju razvoja kartografije in geodezije na Slovenskem, manj pa je govora o materializirani kulturni geodetski dediščini na terenu. Nekaj več zapisov se nanaša na točke trigonometrične mreže, kjer velja izpostaviti dela Črnivca in Goloreja (1976), Černeta (1988), Jenka (1996, 2008, 2019) ter Delčeva, Timarja in Kuharja (2014). Podrobnejša predstavitev teh del z navedbo zanimivih trigonometričnih in drugih geodetskih točk se pripravlja v okviru ciljnega raziskovalnega projekta (Triglav Čekada et al., 2020). Mlakar (1993a in 1993b) je sicer že v 90. letih opozoril na izjemno geodetsko kulturno dediščino v povezavi z gorništvom, kjer je predlagal, da se vsaj točke trigonometrične mreže prvega reda razglasijo za kulturno dediščino. Čeprav je pozornost namenil predvsem točkam trigonometrične mreže prvega reda, je izpostavil možnost promocije geodetske stroke v povezavi s sodobnim planinstvom. Pri tem je navajal pomen geodezije za gornišstvo in kulturno dediščino predvsem na področjih triangulacije, topografske izmere, zemljiškokatastrske izmere, višinomerstva in geodetskih del na državni meji (Mlakar, 1993a).

Malo pa je zapisanega o izjemni katastrski kulturni dediščini. Zanimiv pregled nad mejnimi znamenji na severnem Primorskem v svojem prispevku podaja Kozorog (2008), ki poudarja, da so mejna znamenja pomembna kulturna dediščina in edini pričevalci dogovarjanja in miroljubnega posedovanja zemljišč, ozemlja. Ta poleg ohranjenih mejnikov, povezanih z mejno črto med Beneško republiko in Habsburško monarhijo, posebej izpostavlja mejnike med posestvi takratnih gospostev. Zanimivo je, da so tam zaradi številnih sporov sredi 18. stoletja odredili izdelavo pregledne karte deželnoknežjih gozdov. Ob izmeri je bila izdelana pregledna karta vseh deželnoknežjih gozdov na severnem Primorskem, pregledna karta po posameznih kapitanijah in karta vsakega gozda posebej z vrisanimi mejnimi znamenji, kompasnico, v spodnjem levem delu pa so podatki o površini gozdov in izmeri. V mapah prikazana mejna znamenja so bila skoraj gotovo vklesana v raščene skale hkrati z izmero gozdov. Poleg križev so bile na nekaterih mestih vklesane tudi letnice 1736, žal pa so bili ti mejniki uničeni, predvsem med soško fronto. Tako edino najdeno mejno znamenje z letnico najdemo visoko pod Goličico, na zgornji gozdni meji državnega gozda Veliki Prosek, saj je bilo odmaknjeno od vseh uničujočih dejavnikov v zadnjih 280 letih (Kozorog, 2008). Iz kartografskega gradiva je mogoče sklepati še o številnih drugih mejnikih na terenu, ki so označevali posestne meje nekdanjih gospostev, meje nekdanje dominikalne in cerkvene posesti ter deželne meje (glej tudi Korošec, 1978).

Po pregledu stanja na terenu in registrirane kulturne dediščine v registru kulturne dediščine pa smo ugotovili, da je na lokalni ravni prisotnih in tudi realiziranih kar nekaj pobud v povezavi z ohranjanjem starih mejnih znamenj, mnoga so tudi že pridobila status kulturnega spomenika lokalnega pomena. Gre predvsem za izjemne mejne kamne, ki so pogosto označevali tudi meje katastrske občine ali celo meje dežel.

#### 3.1 Predlog izjemnih mejnih znamenj v Sloveniji

Prva skupina mejnih znamenj, ki spadajo med izredno kulturno dediščino na Slovenskem, so torej že omenjeni stari mejniki, ki so označevali meje posesti starih gospostev, cerkve, deželne meje ipd. Na podlagi doslej pregledanih arhivov in obiskov na terenu ugotavljamo, da so mnogi mejni kamni uničeni. Med ohranjenimi je pa veliko takšnih, ki so vse do danes ohranili vlogo mejnika na parcelni meji,



čprav datirajo daleč pred franciscejski kataster. Med najstarejšimi najdenimi mejniki, ki ima tudi status kulturnega spomenika, je mejni kamen s Planine pod Šumikom (postavljen v obdobju 1653–1671), izklesan iz pohorskega marmorja, z reliefno upodobljenim grbom grofov Vetter-Lilie (Weikharda) na vzhodni in grofov Tattenbach (Erazma) na zahodni strani. Označeval je mejo med gosposčino Bistriški grad in posestjo Konjice (eHeritage, 2020a).

Na ozemlju današnje Slovenije je bilo veliko zanimivih mejnih kamnov postavljenih med vladanjem cesarice Marije Terezije (1740–1780), ki je v okviru notranje reorganizacije monarhije med drugim urejala meje s sosednjimi državami. Dodatno iz tega obdobja izhajajo obeležbe in popisi poteka katastrskih občin. V okviru popisa prebivalstva (1770–1772) so se namreč določile tudi meje naselij, območja vaških skupnosti pa so postala pomembna administrativna enota monarhije, to so tako imenovane katastrske občine, nekdanje davčne občine (Twaroch et al., 2016; Lisec in Ferlan, 2017). Iz teh obdobjev je tudi v Sloveniji največ izjemnih znamenj, ki smo jih našli na terenu in jih uvrščamo na prednostni seznam (slika 1).



Slika 1: Fotografije izbranih katastrskih mejnih znamenj – mejnih kamnov, ki označujejo ali so označevale parcelne meje in/ali meje katastrskih občin (Lisec, 2019; foto: E. Kozorog, 2008; J. Dajko, 2019; A. Lisec, 2019; M. Logar, 2019; spletni viri).

Žal so mnogi mejniki premaknjeni in nimajo več vloge mejnega znamenja, kar je pomembno merilo za vpis na Unescov seznam. Med take uvrščamo na primer zanimive mejne kamne, kot so:

- deželni mejni kamni med nekdanjo Kranjsko in Štajersko, ki so danes na ogled v Posavskem muzeju v Brežicah in pred samim gradom Brežice (slika 2);
- deželni mejni kamen med Štajersko in Ogrsko iz Ljutomera, ki je bil leta 2002 s polja blizu Mote prestavljen pred stavbo pisarne Geodetske uprave RS v Ljutomeru;
- mejni kamen tromeje Drage, Grčarice in Gotenice, ki je bil pred kratkim ukraden in nato vrnjen na približno lokacijo – lokacijo je treba še preveriti, in če je mejnik na prvotnem mestu, je še vedno lahko uvrščen na Unescov seznam (slika 2).



Slika 2: Fotografije prestavljenih katastrskih mejnih znamenj: levo deželni kamen med Štajersko in Kranjsko pred gradom Brežice (foto: A. Lisec, 2019), desno tromeja med katastrskimi občinami Draga, Grčarica in Gotenica (foto: B. Kovač, 2019).

Na podlagi zbrane dokumentacije iz arhivov in na terenu ter ob upoštevanju meril, ki so pomembna pri uvrščanju materializirane kulturne dediščine na Unescov seznam, smo pripravili prednostni seznam katastrskih mejnih znamenj, ki so:

- *mejni kamen 1: mejni kamen na Planini pod Šumnikom (17. stoletje)*, Planina pod Šumnikom, Slovenska Bistrica (kulturni spomenik lokalnega pomena, ZVKD Maribor; EŠD: 20150);
- *mejni kamen 2: mejni kamen iz Veščice – št. 22 (iz leta 1674, slika 3)*, Razkrižje (kulturni spomenik lokalnega pomena, ZVKD Maribor; EŠD: 20001);
- *mejni kamen 3: mejni kamen iz Veščice – št. 5 (iz leta 1754, slika 4)*, Razkrižje (kulturni spomenik lokalnega pomena, ZVKD Maribor; EŠD: 20002);
- *mejni kamen 4: Livek – mejni kamen (iz leta 1753, slika 5)*, Livek pri Kobaridu (kulturni spomenik lokalnega pomena, ZVKD Nova Gorica; EŠD: 325);
- *mejni kamen 5: mejni kamen na Kozjem vrhu (18. stoletje)*, Murnhof med Radljami in Dravogradom (kulturni spomenik lokalnega pomena, ZVKD Maribor; EŠD: 7458);
- *mejni kamen 6: mejni kamen pod staro cesto (iz leta 1823)*, Veliki otok, Postojna (Kulturni spomenik lokalnega pomena, ZVKD Nova Gorica; EŠD: 23902);
- *mejni kamen 7: deželni kamen med deželama Kranjska in Štajerska (iz leta 1845, slika 6)*, Zajasovnik (kulturni spomenik lokalnega pomena, ZVKD Celje; EŠD: 10469).





Slika 3: Mejni kamen iz Veščice – št. 22, na nekdanji meji med Spodnjo Štajersko in Ogrsko. Mejo so določali kamniti mejniki, ki so jih postavljali že v času Leopolda I. (1658–1705), dela pa so končali po zaključenih sporih in regulacijskih preusmeritvah toka reke Mure med vladavino Marije Terezije (vir: eHeritage. 2020b; foto: A. Liseč, 2019).



Slika 4: Mejni kamen iz Veščice – št. 5, na nekdanji meji med Spodnjo Štajersko in Ogrsko. Kamen sega v čas vladanja Marije Terezije, ki je v okviru modernizacije države in uvajanja centralizirane uprave zahtevala tudi natančno določitev meja med upravnimi deli monarhije. Mejo med Štajersko in Ogrsko so natančno določili leta 1755, ko so postavili tudi pričujoči mejni kamen z letnico 1754 (vir: eHeritage. 2020c; foto: J. Dajnko, 2019).



Slika 5: Mejni kamen Livek je označeval mejo med nekdanjo beneško in avstrijsko državo. Razmejitev sega v čas vladanja Marije Terezije, in sicer so mejo določevali v letih 1751–1755. Iz leta 1753 je v zaselku Golobi ohranjeno mejno znamenje, na eni strani skale je avstrijski grb in na drugi strani beneški grb z levom in rimsko letnico (vir: eHeritage. 2020d; foto: U. Drešček, 2020).



Slika 6: Mejni kamen med deželama Kranjska in Štajerska (1845), ki je označeval mejo med Štajersko in Kranjsko. Na njem je napis »deželna meja« in oddaljenost v kilometrih do Vranskega, Celja, Domžal in Ljubljane (vir: eHeritage. 2020e; foto: M. Krivic, 2019).

Dodatno smo identificirali zanimiva mejna znamenja, ki pa še nimajo statusa kulturnega spomenika, a so zaradi izjemnosti zanimiva kot kulturna dediščina. Med temi predlagamo, da se na prednostno listo za razglasitev kulturnega spomenika uvrstijo naslednji mejniki:

- *mejnik Ortneškega in Turjaškega gospostva (iz leta 1673)*, ki je sicer že imel status lokalne kulturne dediščine, vendar ga v novem registru kulturne dediščine ni najti, zato je treba status preveriti (ZVKD Ljubljana; EŠD: 30429);



- *simbolni mejni kamen na Vačah, Mačkovec* (slika 7), ki je miza z vklesano letnico 1304 in je bila last grofice Nežke Ketzenberg z gradu Mačkovec (v postopku razglasitve lokalne kulturne dediščine);
- *mejno znamenje gospostva Vipava* na tako imenovani »nevidni meji«, kjer je tudi pohodniška pot med Šmarjami in Ustjem. Tu je že okoli leta 1200 potekala meja med posestvi gospodov Goriških in Andeških, kot deželna meja pa se je uveljavila v 16. in 17. stoletju;
- *mejni kamen gospostva Ortnek (iz leta 1706)* stoji na južnem delu posestva Ortnek, ki je razmejeval ortneško in ribniško posest;
- *mejniki kanalskega gospostva (iz leta 1716)*: leta 1706 je bila ustanovljena posebna komisija za ureditev meje med kanalskim in tolminskim gospostvom. V naslednjih desetletjih je potekala razmejitev s trajnejšim označevanjem meje tudi na jugu kanalskega gospostva, kjer so ohranjeni redki samostojni mejniki z vklesano letnico 1716 in grbom gospostva (glej Kozorog, 2008);
- *mejniki deželnoknežjih gozdov na severnem Primorskem (iz leta 1736)*, ki izvira iz časa določevanja poteka mej deželnoknežjih gozdov (glej Kozorog, 2008);
- *deželno mejno znamenje med Koroško in Kranjsko (NP)* v zaselku Spodnje Fužine, kjer stojita ob cesti med Predvdvorom in Jezerskim visoka sivkasta kamna zaobljene oblike;
- *mejni kamen blizu Kaliča* (iz leta 1823), ki je podoben predlogu *mejnega kamna številka 6* blizu Postojne.



Slika 7: Simbolni mejni kamen na Vačah (Mačkovec), kjer je mejnik miza z vklesano letnico 1304, ki je bila last grofice Nežke Ketzenberg iz gradu Mačkovec. Brata Stermljan sta jo pri delitvi posesti postavila na posestno mejo in je bila simbol dobrih sosedskih odnosov (foto: M. Čeh, 2019).

V predlogu se nismo dotaknili točk državnih mej, so pa te tudi zagotovo zelo pomembna kulturna dediščina. Državna meja mnogokrat poteka po mejah starih katastrskih občin, tako je na teh območjih zanimivo preučevati tudi ta stara mejna znamenja, suhe kraške zidove in druge oblike obeležij.

### 3.2 Predlog izjemnih geodetskih točk v Sloveniji

S ciljem zagotoviti kakovostno geodetsko podlago za vojaško-topografsko izmero so se na našem ozemlju začela prva obsežna geodetska opazovanja že v 18. stoletju, ko je jezuit Joseph Liesganig za stopinjsko

merjenje ob tako imenovanem dunajskem meridijanu v letih 1762–1767 razvil mrežo trikotnikov od Brna do Varaždina. Na območju Slovenije so bile v mrežo vključene naslednje trigonometrične točke oziroma cerkveni zvoniki: sv. Urban nad Mariborom, Kapela pri Radgoni, Jeruzalem in sv. Urban na Belskem vrhu (Jenko, 1996; Južnič, 2006; glej tudi Triglav 2014, 2015, 2017, 2018). V začetku 19. stoletja se na našem ozemlju pojavi težnja po povezovanju trigonometričnih mrež Severne Italije in avstrijskih dežel severno od območja današnje Slovenije. Tako je do leta 1811 nastala nova trigonometrična mreža na zahodnem Koroškem in na Štajerskem, v Ilirskih provincah pa so se triangulacijska dela izvajala še na Krasu in v Istri. Iz tega obdobja med drugim izvirajo trigonometrične točke I. reda Jeruzalem, Donačka gora, Peca, Košuta in Slavniki (ter Učka (HR) in Opčine (I)). Že omenjena povezava je bila vzpostavljena prek trigonometrične mreže na Notranjskem in Kranjskem, ko je bila leta 1817 vzpostavljena tudi trigonometrična točka I. reda na Krimu (slika 8), ki je postal izhodišče tako imenovanega krimskega koordinatnega sistema (Jenko, 1996).



Slika 8: Obeležji krimskega koordinatnega sistema na Krimu – desno spominska plošča nad točko izhodišča koordinatnega sistema (foto: Ljubljansko geodetsko društvo, 1998).

Navedena mreža je bila namenjena predvsem vojaško-topografski izmeri, ki se je za večji del monarhije izvajala v enotnem koordinatnem sistemu z izhodiščem na Dunaju (cerkev sv. Štefana). Sprva je bilo sicer predvideno, da se bo tudi za kataster uporabila mreža točk tako imenovane vojaške triangulacije I. in II. reda, ki bi se zgostila z numeričnimi točkami mreže III. reda in nato še z grafično triangulacijo, a je bila kakovost vojaške triangulacije žal zelo omejena, dodatna težava pa je bila velika časovna zamuda pri njeni izvedbi. Da bi zagotovili geometrično podlago za sistematično kartiranje mej zemljišč, namenjeno vzpostavitvi katastrskih podatkov v celotni monarhiji, so ozemlje razdelili na območja več pravokotnih koordinatnih sistemov, pri čemer je bilo območje današnje Slovenije razdeljeno na dva (oziroma tri) dele (Linden, 1840; Lego, 1968; Lisec in Ferlan, 2017):

- Kranjska, Koroška in Primorje s krimskim koordinatnim sistemom, katerega izhodišče je bil Krim pri Ljubljani, triangulacija se je izvajala v obdobju 1817–1825; merilo in orientacija krimskega sistema sta bila povzeta po francoski triangulaciji, in sicer bazne linije Slavniki–Učka (32,7 kilometra),



ki je bila povezana s Krimom prek točk Snežnik in Nanos (glej tudi Jenko, 2008; Delčev, Timar in Kuhar, 2014);

- Štajerska: izhodišče Schöcklbergu pri Gradcu, triangulacija v obdobju 1819–1823 s hkratnim razvijanjem mreže I., II. in III. reda; bazna linija je bila med vrhovoma Schöckl in Riegersberg (Türmchen) z dolžino 41,4 kilometra;
- Prekmurje: izhodišče Gellérthely v Budimpešti, kot madžarski del monarhije je bil vključen v triangulacijo in katastrsko izmero v drugi polovici 19. stoletja.

Naslednje pomembno obdobje razvoja trigonometrične mreže na našem ozemlju je med letoma 1860 in 1910, ko se je na eni strani izvedla reambulacija trigonometrične mreže za namen obnove katastra in nove topografske izmere, omeniti pa moramo tudi evropska stopinjska merjenja, v katera se je vključila avstro-ogrska država, ki je podobno kot druge srednjeevropske države želela vzpostaviti enoten referenčni koordinatni sistem. Trigonometrična mreža 1. reda iz tega obdobja je na ozemlju avstro-ogrske monarhije obsegala več kot 600 točk, kjer je bilo vzpostavljenih in izmerjenih 16 baz, od tega tudi baza v Mariboru z dolžino 5697,405 metra (slika 9). Sledilo je več projektov izmere in obnove trigonometrične mreže, kar so podrobno predstavili tudi Jenko (1996) ter Delčev, Timar in Kuhar (2014), trenutno pa obsežno študijo o geodetskih točkah in triangulaciji na našem območju pripravljajo Triglav Čekada et al. (2020) v okviru raziskovalnega projekta Stalna geodetska znamenja kot temelj za kakovostno delovanje geodetske stroke, ki ga sofinancirata Geodetska uprava RS in Javna agencija za raziskovalno delo RS. Pomemben nabor zanimive geodetske kulturne dediščine so zagotovo vse trigonometrične točke prvega reda pa tudi nižjih redov, za katere geodetska uprava v svojih arhivih hrani podrobne topografske opise, mnogi od teh izvirajo iz 18. in 19. stoletja (glej tudi Miklič, 2013). V povezavi z zemljiškim katastrom je treba poudariti, da so se na območju grafičnega katastra podatki katastra in nekateri mejniki ohranili, takratna geodetska (triangulacijska) osnova pa je z nastankom novih mrež precej fizično propadala (Jenko, 1996).

V okviru predloga za vpis na Unescov seznam smo se osredotočili na geodetske točke, ki so povezane z zemljiškim katastrom in imajo izjemen kulturni pomen na mednarodni ravni. Podobno kot za mejnike in mejna znamenja smo pripravili prednostni seznam takih točk, v tem prispevku pa predstavljamo štiri najbolj zanimive z vidika kulturne dediščine in tehnološkega dosežka stroke, to so:

- *Krim – izhodišče nekdanjega krimskega koordinatnega sistema*, ki je tudi trigonometrična točka 1. reda, kot že omenjeno, pa je izhodišče nekdanjega krimskega koordinatnega sistema iz leta 1817 (slika 9);
- *točki mariborske baze* (slika 9), ki je bila v okviru izmere MGI z imenom Kranichsfeld (nemško ime za Rače) vzpostavljena pri Mariboru leta 1860. Skrajni točki sta južna bazna točka (JBT) 217 Starošince in severna bazna točka (SBT) 218 Orehova vas. Izhodna računska stranica bazne mreže je bila med točkama Donati (Donačka gora) in Bacher (Žigartov vrh), vmesni točki sta bili Wurmberg (Krčevina) in Buchberg (Bukovec);
- *trigonometrična točka Triglav*, ki sicer ni točka I. reda, s trigonometrično izmero, prvič izvedeno leta 1822 pod vodstvom Antonia von Bosia, ki pa je podcenjeval nevarnost gora; ekipo je na gori pričakala huda nevihta, zato to odpravo radi povezujemo s prvo gorsko reševalno akcijo na Slovenstem. Leta 1895 je bil na vrhu Triglava na pobudo župnika Jakoba Aljaža postavljen železni stolp, ki ga danes poznamo pod imenom Aljažev stolp in ima status lokalne kulturne dediščine (ZVKD Kranj; EŠD: 5531);

- *trigonometrična točka – cerkev v Jeruzalemu*, ki je povezana s stopinjskim merjenjem ob tako imenovanem Dunajskem meridijanu, ki si je izvajala med letoma 1762 in 1767 in jo je načrtoval jezuit pater Joseph Liesganig. Sama cerkev ima status lokalne kulturne dediščine (ZVKD Maribor; EŠD: 3183).



Slika 9: Točki mariborske baze iz leta 1860: severna bazna točka 218 Orehova vas (levo) in južna bazna točka 217 Starošince (desno) (foto: J. Dajko, 2018; A. Lisec, 2019).

Dodatno je zanimiv geodetski spomenik, ki je že razglašen kot lokalna kulturna dediščina, in sicer je to fundamentalni reper Smolnik iz leta 1878 (ZVKD Maribor; EŠD: 6399). Med izredno zanimive trigonometrične točke, ki imajo še danes takšen status, pa lahko zagotovo uvrščamo še trigonometrične točke I. reda, ki so povezane s prvo triangulacijo na slovenskem ozemlju, kot so Donačka gora, Peca, Košuta in Slavnik.

### 3.3 Predlog izjemne stavbne dediščine v Sloveniji, povezane z geodezijo

V povezavi z zemljiškim katastrom in geodetsko stroko je v Sloveniji več zanimivih stavb, ki so tudi pomembna arhitekturna dediščina in so s tega vidika že zavarovani spomeniki. Ker je predvsem za tako kompleksne kulturne spomenike izrednega pomena, da so stavbe že razglašene kot kulturna dediščina in da so znani tudi njihovi vzdrževalci, smo se predvsem v tretji skupini osredotočili na stavbno dediščino, ki ima status lokalnega ali državnega spomenika:

- *Arhiv Slovenije – Gruberjeva palača*, ki je poznobaročna palača, zgrajena v obdobju 1773–1777 po načrtih G. Gruberja za potrebe šole. Danes je tu arhiv bogate zemljemerske zapuščine v Sloveniji v okviru Arhiva RS (kulturni in zgodovinski spomenik, ZVKD Ljubljana; EŠD: 330);
- *grad Bogenšperk*, ki ga je v sedanji obliki začela graditi plemiška rodbina Wagen po znamenitem potresu leta 1511. Leta 1672 ga je kupil Janez Vajkard Valvasor, znani kartograf in avtor knjige

Slava vojvodine Kranjske. Danes v prostorih gradu med drugim gostuje geodetska zbirka (kulturni spomenik državnega pomena, ZVKD Ljubljana; EŠD: 29s).

Zanimivi spomeniki so lahko povezani tudi s prvo zemljemersko šolo v Idriji, jezuitsko šolo z zemljemskim tečajem v Ljubljani ter druge stavbe, povezane z znanimi geodeti in geografi v Sloveniji, kot so Mrak, Vega, Valvasor, Steinberg ipd.

#### 4 NAMESTO SKLEPA

Namen prispevka je bil predstaviti dejavnosti v povezavi z aktualno nominacijo geodetske terenske kulturne dediščine za uvrstitev na Unescov seznam svetovne dediščine, katere prva pobudnica je Avstrija. Predstavili smo prve predloge izjemne geodetske kulturne dediščine, ki bi jih Slovenija predlagala za uvrstitev na prednostno listo. Dovolj je še časa tudi za dodatne predloge, **zato vabljeni, da nam posredujete svoje predloge/mnenja**. Čisto mogoče je, da smo kakšen zanimiv spomenik spregledali.

V imenu ožje delovne skupine pa se zahvaljujemo vsem, ki ste nam predloge že posredovali. Mnogo gradiv se je zbralo v teh treh letih in upamo, da je to tudi začetek sistematičnega popisa zanimive geodetske dediščine na terenu.

#### Literatura in viri:

- Černe, F. (1988). Navezovalna mreža v SR Sloveniji kot osnova pri obnovi zemljiškega katastra. *Geodetski vestnik*, 32 (1–2), 15–617.
- Črnič, M., Golorej, I. (1976). Temeljne geodetske mreže v SR Sloveniji – stanje in ukrepi za izboljšavo. Simpozijum o snovnim geodetskimi radovima u Jugoslaviji, zbornik radova, Hercegnovi, Savez geodetskih inženjera i geometara Jugoslavije, 31–41.
- Delčev, S., Timar, G., Kuhar, M. (2014). O nastanku koordinatnega sistema D48. *Geodetski vestnik*, 58 (4), 681–694. DOI: <https://doi.org/10.15292/geodetski-vestnik.2014.04.681-694>
- eHeritage (2020a). Planina pod Šumikom – Mejnik. Register kulturne dediščine, EŠD: 20150.
- eHeritage (2020b). Mejni kamen iz Veščice – št. 22 (1674). Register kulturne dediščine, EŠD: 20001.
- eHeritage (2020c). Mejni kamen iz Veščice – št. 5 (1754). Register kulturne dediščine, EŠD: 20002.
- eHeritage (2020d). Livek – Mejni kamen (1753). Register kulturne dediščine, EŠD: 325.
- eHeritage (2020e). Deželni kamen med deželama Kranjska in Štajerska (1845). Register kulturne dediščine, EŠD: 10469.
- ICOMOS (2004). Global Strategy: Filling the gaps – action plan for the future.
- Jenko, M. (1996). Razvoj triangulacije skozi stoletja – s posebnim poudarkom na Sloveniji. *Geodetski vestnik*, 40 (1), 43–46.
- Jenko, M. (2008). Prva sistemska trianguacija na našem ozemlju. *Geodetski vestnik*, 52 (1), 82–94.
- Jenko, M. (2019). Zgodovinski pomen točke na Krimu. *Geodetski vestnik*, 63 (2), 279–281.
- Južnič, S. (2006). Gabriel Gruber, od Ljubljanskega prekopa do jezuitskega generala. Ljubljana: Družina, 216 str.
- Korošec, B. (1978). Naš prostor v času in projekciji. Oris razvoja zemljemerstva, kartografije in prostorskega urejanja na osrednjem Slovenskem. Ljubljana: Geodetski zavod SRS Ljubljana, 180 str.
- Kozorog, E. (2008). Mejna znamenja na severnem Primorskem. Goriški letnik: zbornik Goriškega muzeja, 32, 77–90.
- Lego, K. (1968). Geschichte des Österreichischen Grudkatasters. Dunaj, Bundesamt für Eich- und Vermessungswesen.
- Linden, J. (1840). Die Grundsteuerverfassung in den deutschen und italienischen Provinzen der Österreichischen Monarchie. Vienna: Volkes Buchhandlung.
- Liseč, A. (2019). Network of Boundaries and its Monuments for World Heritage – Slovenian proposal. Predstavitev na delavnici Network of Boundaries and its Monuments, november 2019. Dunaj: Bundesamt für Eich- und Vermessungswesen.
- Liseč, A., Ferlan, M. (2017). 200 let od začetka parcelno-orientiranega katastra. *Geodetski vestnik*, 61 (1), 76–90.
- Liseč, A., Ferlan, M., Čeh, M., Oštrik, K., Drobne, S., Tekavec, J., Drešček, U., Trobec, B. (2020). Arhiviranje terenske geodetske dediščine ter koncept geodetskega slovarja. Končno poročilo (Naročnik: Geodetska uprava RS). Ljubljana: Univerza v Ljubljani, Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo, 33. str.
- Miklič, J. (2013). Geodetska tehnična dediščina je tudi deset stebrov državnih trigonometričnih točk 1. reda. Delovno gradivo, 21 str.
- Mrak, G. (1993a). Zemljemerci in kartografi so morali biti tudi gorniki: Geodezija in planinstvo – 1. del. *Planinski vestnik*, 10, 437–440.
- Mrak, G. (1993b). Zemljemerci in kartografi so morali biti tudi gorniki: Geodezija in planinstvo – 2. del. *Planinski vestnik*, 11, 486–489.

- Stokin, M. (2016). Dediščina Slovenije in UNESCO = Slovenian UNESCO heritage. Ljubljana: Zavod za varstvo kulturne dediščine Slovenije: ICOMOS Slovenija. [http://www.icomos.si/files/2016/10/UNESCO\\_web.pdf](http://www.icomos.si/files/2016/10/UNESCO_web.pdf), pridobljeno 10. 4. 2020.
- Triglav, J. (2014). Zgodovina topografskih izmer habsburške monarhije (1. del). Življenje in tehnika, 65 (12), 48–57.
- Triglav, J. (2015). Zgodovina topografskih izmer habsburške monarhije (2. del). Življenje in tehnika, 66 (1), 42–50.
- Triglav, J. (2017). 200 let katastra na Slovenskem – 2. del. Življenje in tehnika, 68 (12), 61–67.
- Triglav, J. (2018). 200 let katastra na Slovenskem – 3. del. Življenje in tehnika, 69 (1), 65–73.
- Triglav Čekada et al. (2020). Stalna geodetska znamenja kot temelj za kakovostno delovanje geodetske stroke. 2. vmesno poročilo. Ciljni raziskovalni projekt VZ-1924 (Naročnika: Geodetska uprava RS in Javna agencija za raziskovalno delo RS). Ljubljana: Geodetski inštitut Slovenije in Univerza v Ljubljani, Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo.
- Twaroch, C., Hiermanseder, M., Mansberger, R., Navratil, G. (2016). Der Weg zum Grundsteuerpatent. Vermessung & Geoinformation, 104 (3), 118–127.
- UNESCO (2005). The Struve geodetic arc (multiple locations in ten countries): General description. Heritage of Astronomy. UNESCO. <https://www3.astronomicalheritage.net/index.php/show-entity?idunescowhc=1187>, pridobljeno dne 14. 6. 2020.
- Waldhäusl, P., König, H., Mansberger, R. (2016). Boundaries and Boundary Marks Substantive Cultural Heritage of Extensive Importance.
- Waldhäusl, P., Twaroch, Ch., Navratil, G., Mansberger, R., König, H., Hiermanseder, M., Hanke, K., Schennach, G., Abart, G. (2014). Der Grenzstein als Symbol für das Grundeigentum soll UNESCO Welterbe werden. Vermessung & Geoinformation, 1, 11–23.
- Waldhäusl, P., Twaroch, Ch., Hiermanseder, M., Ernst, J., Mansberger, R., Ernst, J., Tucci, G., Lisec, A. (2019). The Network of Boundaries and its Monuments. Thematic Study and proposed Strategy for World Heritage Nomination – v1. Vienna, Florence, Ljubljana, 36. str.

**izr. prof. dr. Anka Lisec, univ. dipl. inž. geod.**

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

**Jože Dajnko, univ. dipl. inž. geod.**

Geodetska uprava RS, OGU Ptuj  
Krempljeva ulica 2, SI-2250 Ptuj  
e-naslov: joze.dajnko@gov.si

**mag. Erna Flogie Dolinar, univ. dipl. inž. geod.**

Geodetska uprava RS  
Zemljemerska ulica 12, SI-1000 Ljubljana  
e-naslov: erna.flogie-dolinar@gov.si

**doc. dr. Marjan Čeh, univ. dipl. inž. geod.**

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

# VIRTUALNI GEORADAR VIRTUAL GEORADAR

*Joc Triglav*

## 1 UVOD

Takoj na začetku je treba povedati, da je to zgodba brez dejanskega georadarja. Ta je v njej prisoten le kot želja, zato naslov zgolj metaforičen in dodatno podkrepljen s pridevnikom 'virtualni'. Glavni nastopajoči so bager, kramp in lopata, skupaj z njihovimi skrbnimi in veščimi upravljavci, pri delu pa jim je 'svetil zraven s karto' še en geodet.

Zgodba se je začela pisati to poletje, ko se je enostaven projekt prenove dotrajane domače terase in tlakovcev okrog hiše razširil z nenačrtovano zamenjavo hišnega priključka na mestni vodovod. Med zemeljskimi deli na parceli je namreč postalo pomembno dejstvo, da obstoječi priključek na javni vodovod za našo hišo poteka iz sosednje ulice prek sosednje parcele in brez lastnega zunanjega ventila ter zunanjega vodomera. Ker upravljavec javnega vodovoda že nekaj let po programu izvaja adaptacije vodovodnih priključkov in montažo zunanjih vodomeroev na območju mesta, je bila smiselna odločitev, da parcelo še 'malo dodatno' razkopljemo in izvedemo novi hišni priključek na javni vodovod iz naše ulice. Zemljišče je bilo namreč že razkopano zaradi terase in tlakovcev, bager pa je bil na njem. Skratka, bolje, da kopljemo zdaj po že razkopani parceli kot pa čez kakšno leto po na novo urejeni trati.

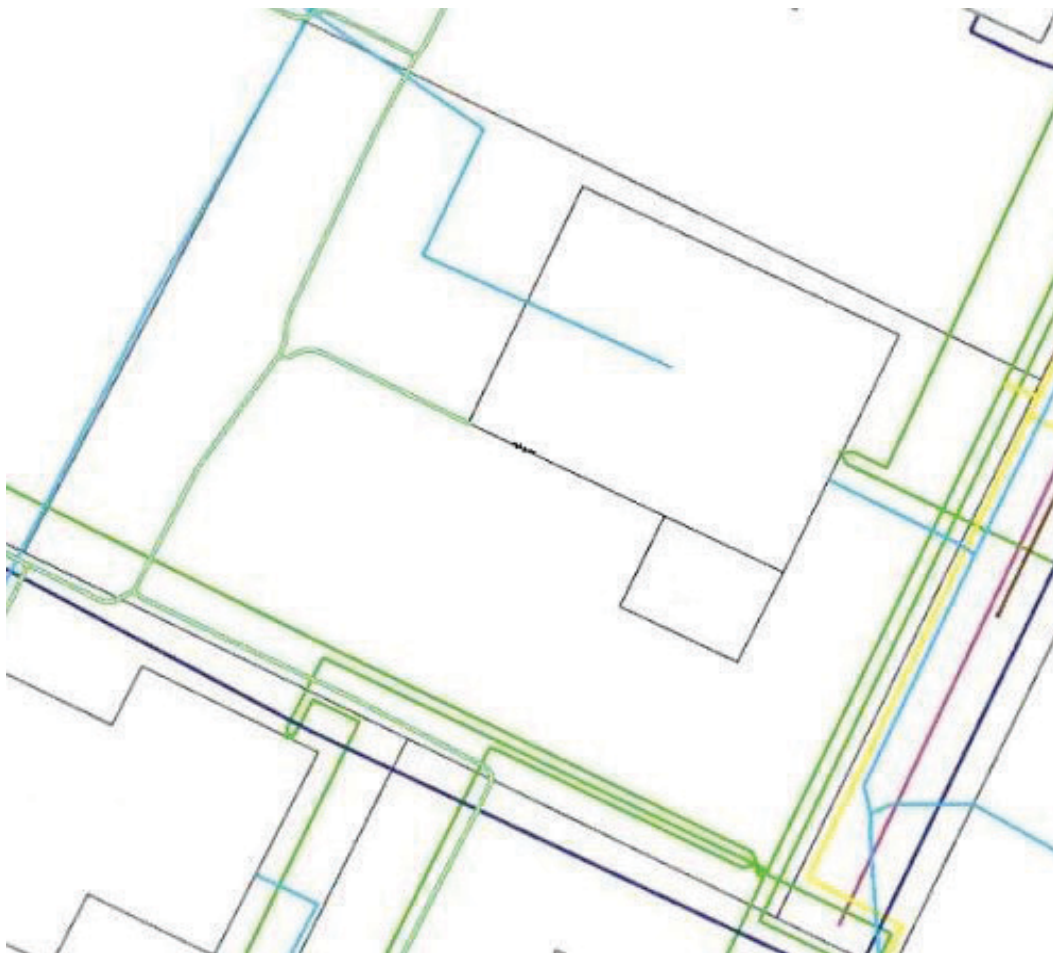
## 2 OBSTOJEČI KOMUNALNI VODI IN ZBIRNI KATASTER GJI

S strokovnjaki upravljavca javnega vodovoda smo hitro določili tako rekoč edino možno traso izkopa in potek nove vodovodne cevi po hiši tako, da je bilo čim manj vrtanja skozi stene. Izkop trase za nov priključek na javni vodovod je načeloma enostavno strojno mehansko opravilo, zahteva pa upoštevanje poteka obstoječih komunalnih vodov v okolici hiše in pod javno cesto. Izvajalca izkopa sem vprašal, ali je od nadrejenih prejel kakšno 'karto' poteka komunalnih vodov na območju naše parcele. Njegov odgovor je bil hiter in jasen: »Ne. Rekli so mi le to kot vedno, to je, da naj pri izkopu pazim, da kaj ne pretrgam.« To je pomenilo, da moram takoj pogledati v geodetske evidence poteka komunalnih vodov. Prvi vir podatkov je bil aktualni sloj grafičnega prikaza zbirnega katastra gospodarske javne infrastrukture (GJI) v spletnem vpogledovalniku Preg (slika 1).

Ker ta grafični prikaz ni popoln, sem si pomagal s skeniranimi prosojnicami nekdanje evidence katastra komunalnih naprav (tako imenovanimi KKN). Prosojnice smo na pokalonskih folijah, skladno z razdelbo detajlnih listov katastrskih načrtov na geodetski upravi v Murski Soboti, vzdrževali nekeje do sredine 90.



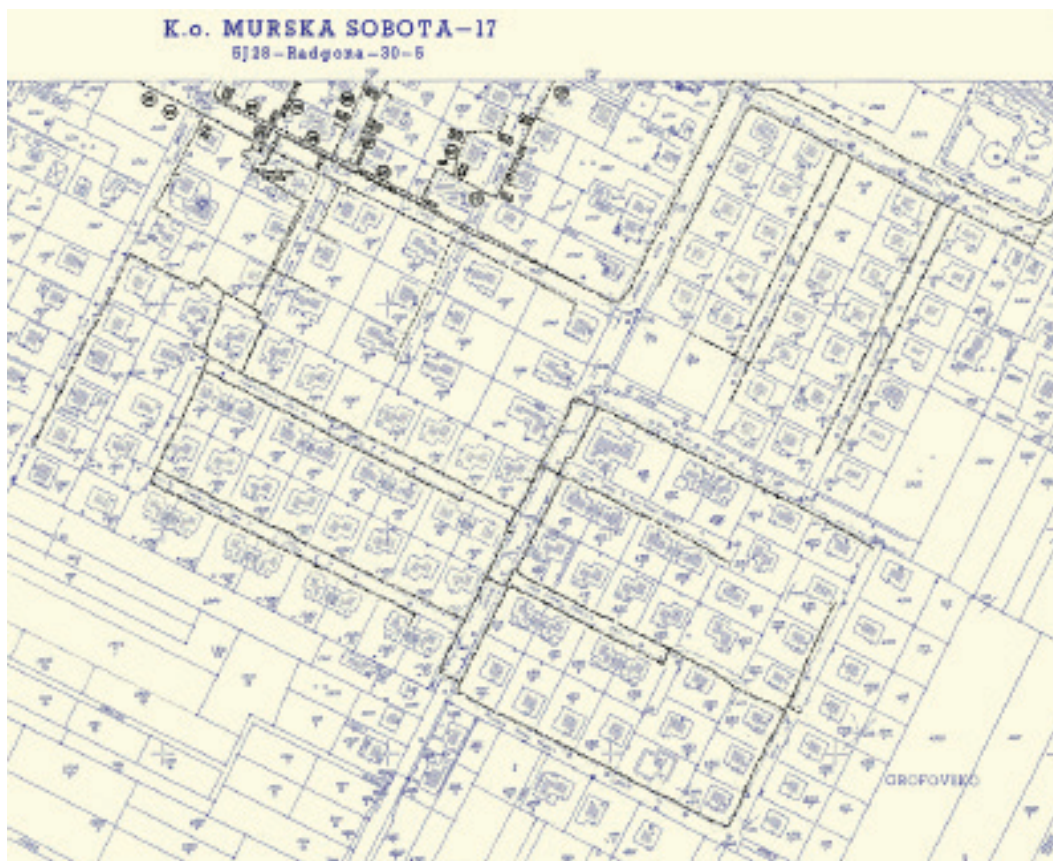
let. Tja do konca 90. let smo jih dopolnjevali digitalno v obliki vektorskih načrtov v dwg-datotekah. Te so nam po dogovoru posredovala geodetska podjetja, ki so za upravljavce komunalnih vodov ali izvajalce izkopov opravljala terenska geodetska snemanja položenih komunalnih vodov. Vse te podatke smo potem na geodetski upravi predali pristojnim občinam v nadaljnjo uporabo, kot arhivski podatek pa obdržali le kopije v digitalni rastrski in/ali vektorski obliki.



Slika 1: Grafični prikaz poteka vodov gospodarske javne infrastrukture iz zbirnega katastra GJI za območje domačega delovišča.  
Vir: GURS, vpogledovalnik Preg, julij 2020.

Prosojnice so se v starih analognih časih uporabljale skupaj s podlago katastrskih načrtov. Skupna uporaba je bila enostavna, saj so imeli načrti in prosojnice enak koordinatni okvir, skladen z uradno razdelbo in nomenklaturu detajlnih listov katastrskih načrtov v nekdanjem Gauß-Krügerjevem državnem koordinatnem sistemu. Za mesto Murska Sobota so bili to načrti v merilu 1 : 1000, dotično delovišče je na detajlnem listu 17. V digitalnih časih je uporaba vsebinsko enaka in izvedbeno še enostavnejša, saj je treba le prosojno položiti skenogram prosojnice KKN na skenogram katastrskega načrta, kot je na primeru prosojnice električnega omrežja prikazano na sliki 2.





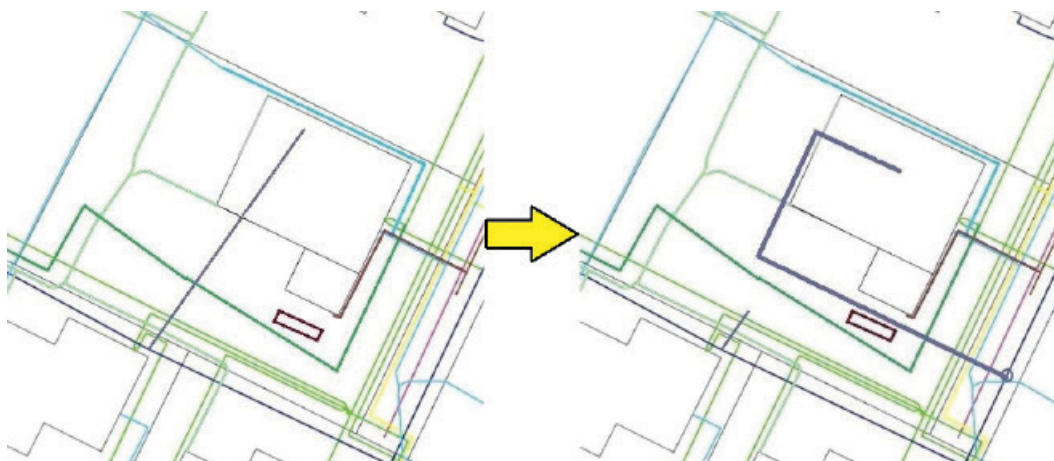
Slika 2: Skenogram prosojnice podzemnega električnega omrežja, položen na skenogram katastrskega načrta – detajlni list 17 v izvornem merilu 1 : 1000, k. o. 105 Murska Sobota. Vir: Arhiv OGU Murska Sobota in GURS, eŽKN.

### 3 PAZI, DA KAJ NE PRETRGAŠ ...

Ob pregledu aktualnih podatkov GJI in arhivskih prosojnic KKN se je pokazalo, da na območju predvidenega izkopa po parceli poteka dodatni električni vod za oskrbo več ulic naselja, na katerega bo treba 'paziti', da širša sosesčina ne bi slučajno ostala brez elektrike. Ugotovil sem tudi, da ni potek obstoječega hišnega priklopa vodovoda na glavni vod v sosednji ulici prikazan v nobeni grafiki. Poznal sem le približni potek vodovodnega priključka po parceli, na meter točno, nesporno pa je potekal prečno na linijo predvidenega izkopa novega voda. To je pomenilo, da bo spet treba 'paziti', da ne bi v hiši začasno ostali brez vode. V grafiki zbirnega katastra GJI je vod telefonskega priključka potekal prečno na linijo predvidenega izkopa, v resnici pa poteka drugje, torej nanj pri izkopu ne bo treba 'paziti'.

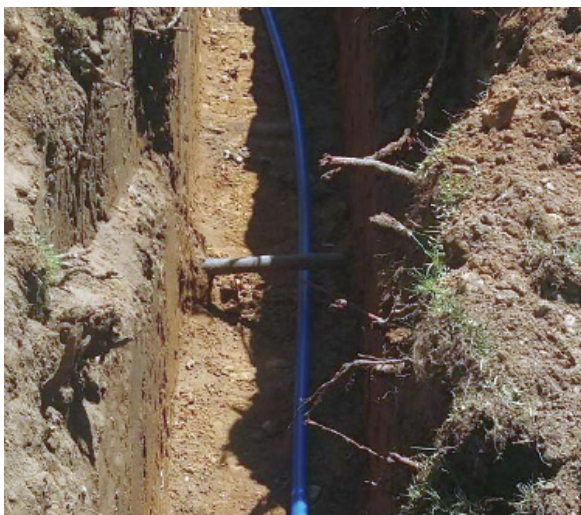
Na podlagi podatkov GJI in KKN ter približnega poznavanja poteka vodovoda sem v treh izvodih hitro izdelal priročni izris poteka vseh znanih podzemnih vodov po parceli in cesti – en izvod za bagrista, en izvod za delavce in en izvod zame (slika 3). Sledil je skupinski ogled trase in določitev območij na parceli, kjer bo treba ob izkopu posebej 'paziti', z opisom poteka vodov pod cesto, kjer so bili med parcelo in

vodovodnim priključkom horizontalno drug ob drugem, a na različnih višinah, vodi elektrike, plina in optike ...



Slika 3: Dopolnjen prikaz vodov zbirnega katastra GJL za lastne potrebe – stanje pred izkopom vodovoda (levo) in po izkopu (desno). Vidna je sprememba poteka vodovoda, prikazana v temno modri barvi.

Da ne bi po nepotrebnem zavlačeval te zgodbe, naj povem, da smo bagrist, delavci in jaz sam ob podpori 'karte' dobro 'pazili' in med izkopom nismo pretrgali nobenega voda. Zadovoljstvo v ekipi je bilo veliko. Delavci in bagrist so na koncu povedali, da stranke, ki bi jim dala 'karto' v roke in jim ves čas izkopa 'svetila' ter opozarjala na kritične lokacije, še niso imeli. Hkrati so se spomnili zgodb z različnih delovišč, kjer so pri izkopih pretrgali ta ali oni vod, čeprav so 'pazili', da se to ne bi zgodilo. Sam sem dodal še nekaj geodetskih zgodb, kako so kakovostne evidence o komunalnih vodih, ki jih imamo geodeti, preprečile nastanek gospodarske škode in delovnih nesreč.



Slika 4: 'Križanje' starega (črna cev) in novega (modra cev) vodovodnega priključka na globini enega metra. Foto: Joc Triglav, julij 2020.

#### 4 STARA ZGODBA

Tipičen primer je zgodba s konca 90. let, to je iz časa, ko niti pri upravljavcih niti v geodetski službi ni bilo posebne vneme za vzdrževanje evidence KKN. V Murski Soboti pa smo še kar 'trmarili' ter vestno zbirali in evidentirali vse grafične in koordinatne podatke o posnetih novih komunalnih vodih, ki smo jih dobili od upravljavcev ali geodetskih podjetij. Na obrobju večjega blokovskega naselja v severnem delu Murske Sobote je takrat izvajalec večjih gradbenih del za območje izkopa od upravljavcev vseh komunalnih vodov pridobil podatke o poteku njihovih vodov. Med njimi je bil tudi upravljavec plinovodnega omrežja, ki je izvajalcu poslal izjavo, da na območju gradbenih del ni njihovega plinovoda. In tako je nekega jutra izvajalec prišel z bagrom in delavci. Slučajno so se dela lotili ravno pred vratarnico bližnjega podjetja. Vrtar je stopil iz vratarnice in jih vprašal, kaj bodo delali. Ko so mu povedali, jih je opozoril, da ravno tu poteka glavni vod plinovoda za celoten severni del mesta. Izvajalec izkopa mu je pokazal izjavo upravljavca, da tu ni plinovoda. Vrtar pa jim je odvrnil, da ga to nič ne briga, ker je on ves čas v vratarnici in so mu »prav tu pred nosom pred nekaj meseci ropotali s tem glavnim plinovodom«. Povedal je tudi, da so geodeti vse snemali in da so 'karte' zagotovo na geodetski upravi. Po nekaj prerekanja, ko vrtar ni dovolil izkopa in je hotel poklicati policijo, se je vodja delovišča le odločil, da stopi na geodetsko upravo po informacije. Ko je prišel, sem mu potrdil, da tu poteka glavni vod plinovoda, in mu predal izris situacijskega načrta ter disketo z dwg-datoteko načrta. Vodja delovišča pa si je ob zahvali za 'karto' in podatke le obrisal znoj s čela ob vzdihu »hvalabogu za vratarja in geodete«.

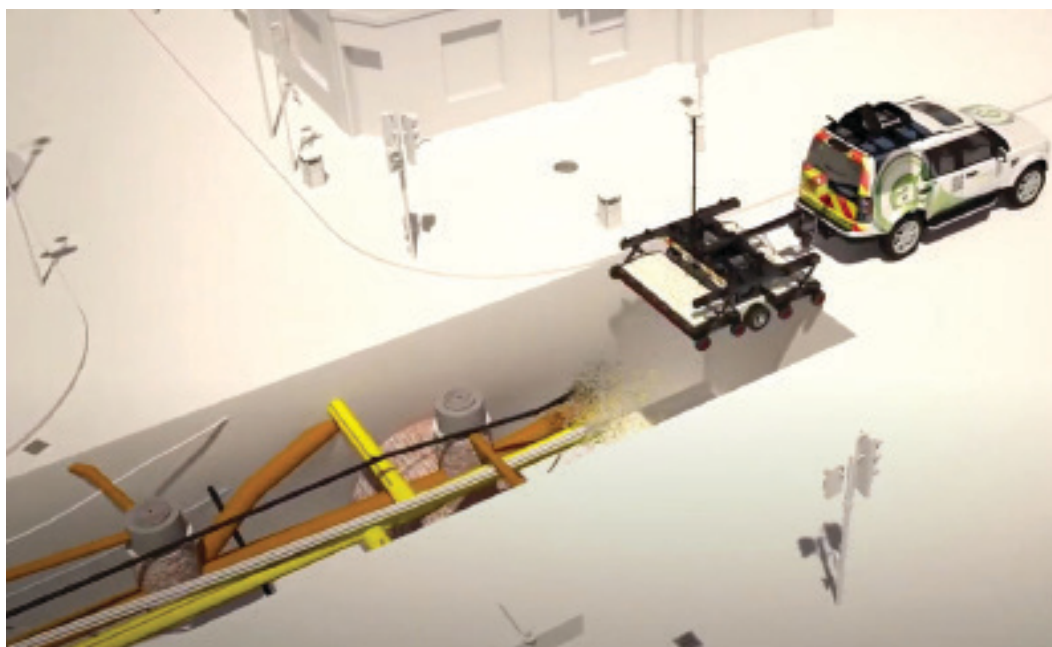
#### 5 IN NA KONCU VENDARLE: GEORADAR IN NADGRAJENA RESNIČNOST

Tudi izkop vodovoda na domači parceli smo s 'karto' in skrbnim delom torej uspešno zaključili in si ga popestrili s takšnimi in podobnimi zgodbami. Naj povem še, da je izvajalec po položitvi vodovoda v okviru standardnega postopka poskrbel, da je novo traso vodovodnega priključka posnelo geodetsko podjetje.

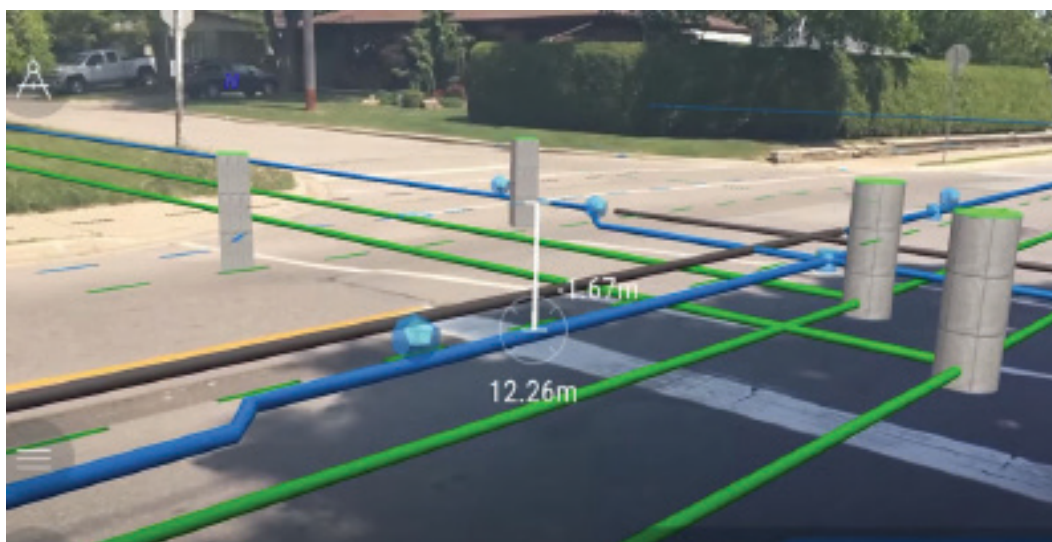
In kje se je izgubil georadar iz naslova? Kot sem zapisal na začetku, je v konkretni zgodbi le virtualen, čeprav v resnici obstaja in se v svetu tudi uporablja za kakovostno in zanesljivo zaznavanje poteka podzemnih vodov. Da bralci ne bi ostali opeharjeni zanj, naj povem, da je naš geodetski kolega pred nekaj leti pripravil krasno doktorsko disertacijo o teoriji in praksi georadarskih opazovanj (Šarlah, 2016), ki jo priporočam v branje.

Nekaj spletnih povezav na temo georadarja in prikazov vizualizacije komunalnih vodov s tehnikami nadgrajene resničnosti sem dal tudi bagristu in mu priporočil, naj z njimi seznani svoje šefe (slike 5, 6 in 7). Bagrist je bil nad videnim navdušen. Upam, da bodo tudi njegovi nadrejeni. Zato zgodbo zaključujem z željo in upanjem, da georadar ob morebitnem naslednjem izkopu na domači parceli in vseh drugih gradbenih deloviščih ne bo več nastopal samo v virtualni obliki. Čas je, da z uporabo novih digitalnih tehnologij stopimo iz 'kamene dobe' evidentiranja v nove čase.





Slika 5: Dvojno polarizirani georadar v izvedbi vlečne prikolice omogoča hiter zajem podatkov o podzemnih komunalnih vodih na obsežnih mestnih območjih. Vir: <https://www.youtube.com/watch?v=IHHDuocuoTI>.



Slika 6: Primer vizualizacije poteka komunalnih vodov z mobilno aplikacijo na način nadgrajene resničnosti, kjer so izmerjeni podatki o komunalnih vodih uporabniku prikazani 'v živo' skupaj s stanjem dejanskega okolja, ki je v vidnem polju kamere mobilne naprave. Vir: <https://www.youtube.com/watch?v=WgCOTn8OC8M>.



Slika 7: Primer virtualnega izkopa. Zgoraj slika z nastavitvijo nizke prosojnosti vrhnjega sloja. Spodaj slika z nastavitvijo polne prosojnosti vrhnjega sloja. Vir: <https://www.vgis.io/>.

## Vir/literatura:

Šarlah, N. (2016). Izdelava modela georadarskih opazovanj za evidentiranje gospodarske infrastrukture. Doktorska disertacija. Ljubljana: Univerza v Ljubljani,

Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo. <https://repozitorij.uni-lj.si/IzpisGradiva.php?lang=slv&id=85605>. Pridobljeno 29. 8. 2020.

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

# PTIČJI POGLED Z DRUGE PERSPEKTIVE A BIRD'S EYE VIEW FROM ANOTHER PERSPECTIVE

*Andreja Švab Lenarčič*

## 1 UVOD

Velik del širše javnosti pozna ali celo uporablja letalske posnetke Geodetske uprave RS, najpogosteje kot vizualno podlago za orientacijo v prostoru. Geodeti vemo, da so ti posnetki v resnici digitalne ortofoto podobe (DOF), torej podobe, ki so z upoštevanjem parametrov centralne projekcije podobe in modela reliefa transformirane (razpačene) v ortogonalno projekcijo podobe v izbranem koordinatnem sistemu. Izdelek je metrično enak linijskemu načrtu ali karti. Morda je manj znano, da je DOF daljinsko zaznana podoba, ki je kot takšna uporabno vrednost dobila šele po zapletenih postopkih predobdelave. Še manj splošno razširjeno je zavedanje, da imamo DOF posnet v štirih spektralnih kanalih. V razpravi je zato zelo splošno opisana večinska uporaba DOF ter manj znane lastnosti DOF, ki bi jih bilo smiselno izkoristiti pri postopkih dela na GURS.

## 2 ŽELELI SMO VIDETI KOT PTIČ

Človeka je že od nekdaj zanimalo, kako vidi ptič, medtem ko leti po zraku. Konec devetnajstega in na začetku prejšnjega stoletja smo dobili prve zračne posnetke. Prve platforme so bili baloni in zmagi, nato pa tudi golobi (slika 1 levo). Takšni posnetki res ponujajo pogled na površje Zemlje iz ptičje perspektive. Do danes so snemalne tehnike že močno napredovale. V prejšnji številki Geodetskega vestnika (Krotec, 2020) smo lahko prebrali, koliko znanja in truda je bilo vložnega v to, da so današnje podobe DOF na tako visoki kakovostni ravni. Zdi se, da celo na višji, kot jo pri delu potrebuje običajen uporabnik podob DOF. Večinoma namreč uporabljamo DOF v tako imenovanih vidnih barvah – barvah, ki jih zaznava človeško oko (slika 1 desno). Kaj pa če DOF vsebuje več kot samo te barve?

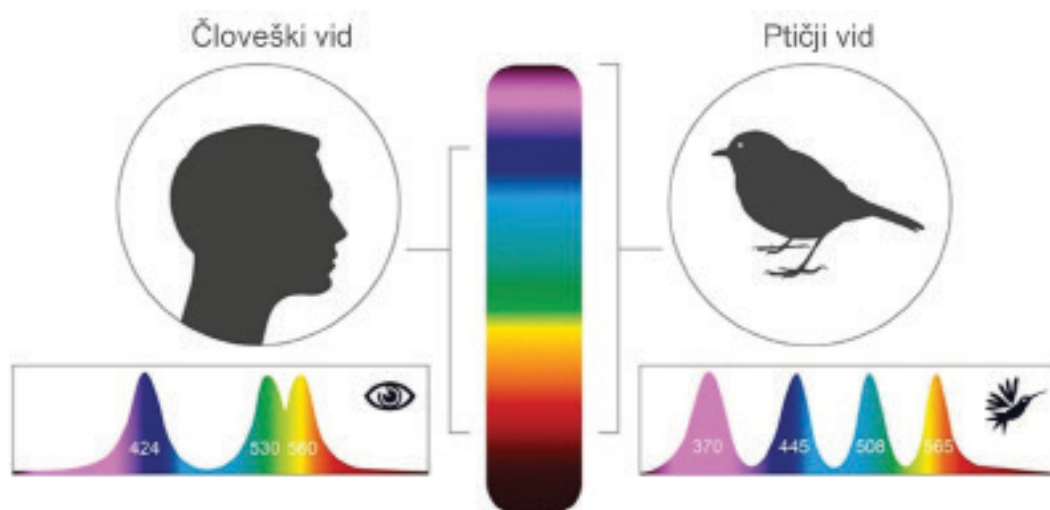




Slika 1: Levo: golob kot platforma letalskega snemanja (Imgur, 2020a); desno: DOF v barvah vidnega dela spektra (eGP, 2020).

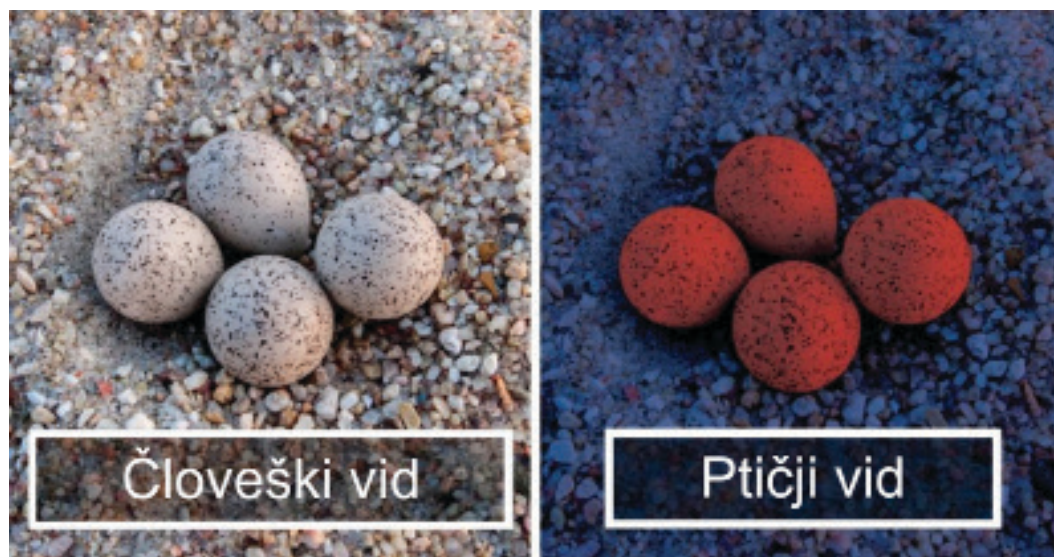
### 3 KAKO DEJANSKO VIDI PTIČ?

Uspelo nam je torej dobiti pogled iz ptičje perspektive. Ampak ali smo se vprašali, kako dejansko vidi ptič? Vidi enake dele spektra kot človek? Tudi glede tega bi bili marsikdaj veseli, če bi imeli ptičji pogled. Ptič namreč vidi v štirih barvah, v štirih jasno ločenih spektralnih kanalih. Poleg treh kanalov, ki jih vidi človek, lahko ptič zaznava predmete, ki oddajajo ultravijolično svetlobo (slika 2).



Slika 2: Grafična primerjava človeškega in ptičjega spektralnega vida. Medtem ko so ptiči tetrakromati in vidijo štiri barve: UV, modro, zeleno in rdečo, smo ljudje trikromati in svet zaznavamo v zgolj treh barvah: modri, zeleni in rdeči. Na sliki je treba upoštevati, da je UV-svetloba prikazana v »barvi« magente, da je vidna človeškim očem (Boredpanda, 2020).

Kako ptiču to koristi? Ena izmed koristi je zagotovo dobro zaznavanje lokacije izleženih jajc (slika 3). Bi lahko tudi ljudem koristil pogled v drugih delih spektra?



Slika 3: Pogled na jajca v pesku s človeškimi in ptičjimi očmi (Boredpanda, 2020).

#### 4 ALI LAHKO KAMERA PRESEŽE ČLOVEŠKI VID?

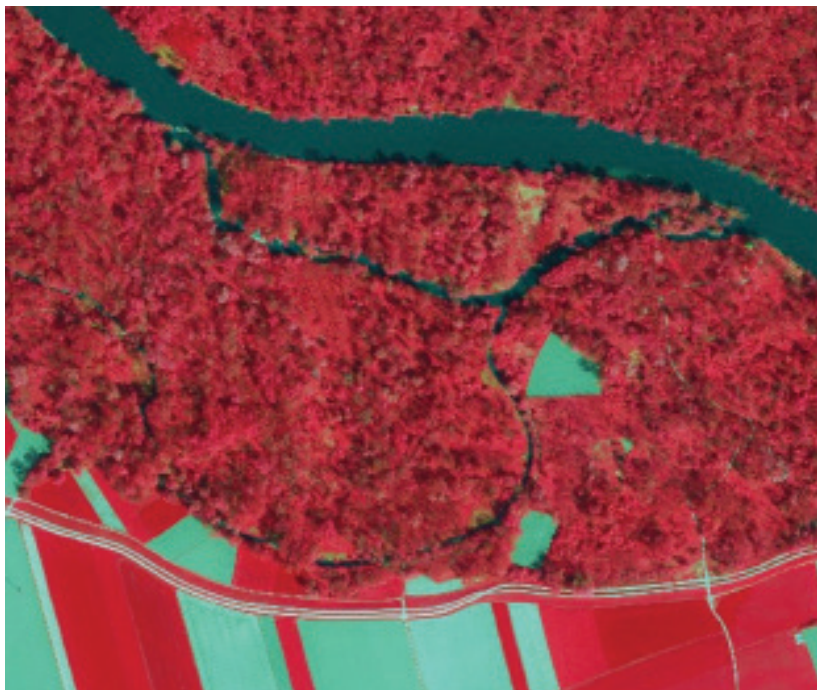
Ptič pa ni edina žival, ki vidi v več spektralnih kanalih kakor človek. Ultravijolično svetlobo pravzaprav zaznava večina vretenčarjev razen sesalcev (Davis, 2020). Po drugi strani večina hladnokrvnih živali (kače, insekti, ribe, žabe) vidi svetlobo infrardečega dela spektra. Zanimivo bi bilo videti svet skozi oči različnih živali (slika 4, zgornji del). V nasprotju s človeškimi očmi so snemalne kamere lahko »hladnokrvne«. Veliko kamer (običajno nameščenih na satelite) zajema svetlobo valovnih dolžin, ki segajo zunaj vidne svetlobe. Sateliti Sentinel-2, trenutno eni najbolj priljubljenih, snemajo v 13 spektralnih kanalih. Obstajajo seveda senzorji s še višjo spektralno ločljivostjo, vse tja do hiperspektralnih senzorjev z več kot sto spektralnimi kanali. Če pokukamo zunaj obsega optičnih kamer, se naše »oči« nadgradijo še na področje radarskega in lidarskega zaznavanja. Pa ostanimo v tej razpravi pri podobah DOF.

Zelo dobra lastnost podob DOF je, da vsebujejo tudi bližnje infrardeč kanal. Na sliki 5 je prikazan DOF v tako imenovanih lažnih barvah: bližnji infrardeči, rdeči in zeleni. Če primerjamo to sliko s sliko 1, na kateri je prikazano isto območje v tako imenovanih resničnih barvah (v barvah vidne svetlobe), lahko opazimo, da je voda, predvsem vodni kanali v gozdu, veliko bolj vidna na posnetku, ki zajema bližnjo infrardečo svetlobo.

Torej imamo celotno Slovenijo posneto tudi v infrardečem kanalu. Zdi se, da je vizualna interpretacija tega kanala težja kakor interpretacija podob v resničnih barvah. Ker so naše oči navajene vidne svetlobe, je verjetno res tako, le da v dobi strojnega učenja res ni treba uporabljati zgolj vizualne interpretacije.



Slika 4: Oči različnih živali in človeka (Imgur, 2020b) ter kamera, nameščena na letalo (Resolveoptics, 2020).



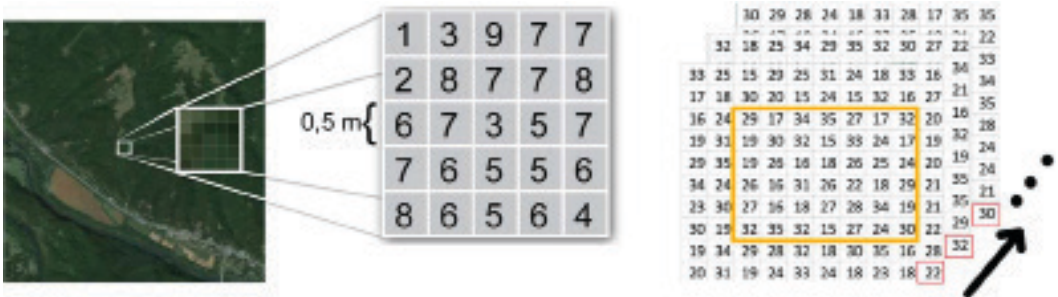
Slika 5: DOF v barvah: bližnje infrardeča, rdeča in zelena (GURS, 2020).



## 5 JE VIZUALNA INTERPRETACIJA EDINI NAČIN UPORABE DOF?

Vizualna interpretacija je najbolj intuitivna, človekovemu razumu najbližja in zelo prav je, da DOF uporabljamo kot vizualno podlago. Vendar pa se je ob tem priporočljivo zavedati, da DOF ni zgolj posnetek površja, »slika za gledanje«, temveč daljinsko zaznana podoba, ki kot takšna vsebuje veliko informacij. Oštir (2006) je termin podobe razložil kot digitalno predstavitev podatkov daljinskega zaznavanja v obliki matrike slikovnih elementov oziroma pikslov. Podoba lahko predstavlja odbojnost ali lastno sevanje površja in je – odvisno od števila kanalov – eno- ali večrazsežna. Izraz poleg tega zajema vse rezultate obdelav, od predobdelave prek izboljšanja in transformacij do klasifikacije, modeliranja in simulacij. V najširšem pomenu je podoba vsaka slika v rastrski obliki. Pojem je širši od posnetka, ki je predstavitev resničnosti, kot jo je zajel senzor.

Na sliki 6 je prikazano, da vsak piksel podobe DOF vsebuje neko numerično vrednost. Celotna podoba vsebuje toliko številčnih rastrov/matrik, kolikor je spektralnih kanalov, v primeru DOF torej štiri.

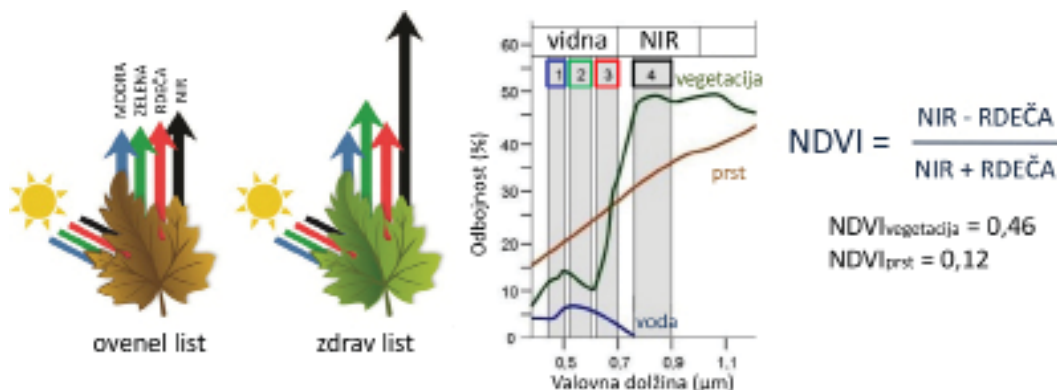


Slika 6: DOF je rastrska podoba, pri kateri vsak piksel v vsakem kanalu vsebuje neko vrednost. Vrednosti so simbolične (NEON, 2020).

Ob pogledu na vse te številke se lahko vprašamo: ja, kdo pa bo vse to računal in interpretiral? Na srečo je tehnologija digitalne interpretacije podob daljinskega zaznavanja že tako napredovala, da z uporabo logičnega razmišljanja ter različnih ukazov v ustreznih programskih orodjih hitro pridemo do koristnih rezultatov. Podobe lahko vizualno izboljšamo (kontrast, filtriranje, barvni kompoziti), izvedemo njihove različne transformacije (aritmetične operacije, vegetacijski indeksi, analiza osnovnih komponent), klasifikacijo (spektralni prostor, nenadzorovana in nadzorovana klasifikacija, ovrednotenje klasifikacije). Izdelamo lahko poligone različnih objektov in te podatke potem uporabimo pri analizah GIS. Računamo lahko statistike, zaznavamo spremembe.

Slika 7 prikazuje odbojnost različnih valovnih dolžin pri različnih predmetih na površju Zemlje. Ljudje vidimo zdrav list v zeleni barvi, saj v vidnem delu spektra odbija največ zelene. Ovenel list vidimo v rumeni, rdeči ali rjavi barvi, saj človeške oči zaznajo največ rdeče. Človeškim očem neviden je odboj bližnje infrardeče svetlobe, ki je za rastline velikega pomena. Slednje namreč za fotosintezo vpijajo svetlobo iz rdečega dela elektromagnetnega spektra in oddajajo elektromagnetno sevanje v bližnjem infrardečem delu spektra, s čimer se ohlajajo. Količino odbojnosti posamezne pokrovnosti pri različnih valovnih dolžinah običajno prikazujemo z grafom, imenovanim spektralni podpis. Različne pokrovnosti (drevesa, stavbe, prst, voda ...) so na daljinsko zaznani podobi dejansko »podpisane«. Le prepoznati moramo njihov podpis. Več kot pri snemanju uporabimo spektralnih kanalov in ožji kot so, bolj lahko različne objekte ločimo

med seboj. Eden najpogostejše uporabljenih načinov primerjave objektov je izračun različnih indeksov. Za analizo vegetacije je najbolj znan normiran diferencialni vegetacijski indeks NDVI, ki se izračunava iz odboja vidne in bližnje infrardeče svetlobe.



Slika 7: Levo: spektralni odboj različnih valovnih dolžin zdrave in nezdrave vegetacije (MIDOPT, 2020); sredina: spektralni podpis vegetacije, vode in prsti (BrainKart, 2020); desno: izračun indeksa NDVI za vegetacijo in prst glede na vrednosti spektralnega podpisa. Številke na sliki odražajo realne vrednosti, ki pa so v resničnosti spremenljive v odvisnosti od lastnosti pokrovnosti.

Indeks NDVI izračunamo za vsak piksel podobe, s čimer dobimo podobo NDVI. Primer takšne podobe je prikazan na sliki 8, kjer uporabimo kombinacijo vegetacijskega indeksa NDVI ter vektorskega sloja tlorisov katastra stavb. Vegetacijski indeks za vegetacijo je zelo visok (svetle barve na sliki 8 desno), medtem ko je za poškodovano vegetacijo ali nevegetacijo (kamor štejemo tudi ceste, stavbe in golo prst) nizek (temne barve na sliki 8 desno).



Slika 8: Tlorisi katastra stavb (oranžno), prikazani na DOF v resničnih barvah (levo), ter na podobi NDVI (desno), izdelani na podlagi podobe DOF s kombinacijo rdečega in bližnjerdečega kanala. Z izračunom mediane vrednosti NDVI na območju posameznih tlorisov lahko hitro in učinkovito določimo tlorise, na katerih v resnici ni stavbe. Primer takšnega tlorisa je označen z modro puščico.

Z izračunom statističnih vrednosti pikslov na tlorisih (v tem primeru mediane) lahko hitro, učinkovito in s samodejnim postopkom določimo tlorise, pod katerimi ni stavbe. Z nekaj več truda bi lahko določili tudi območja, kjer stavbe so, vendar pa v katastru stavb nimajo svojega tlorisa.

S podobno obdelavo podatkov lahko naredimo tudi druge analize, na primer odstotek ozelenitve v mestih, določanje lokacij s spremembami (na primer včasih je bila stavba, zdaj je ni več), bolj usmerjeno lahko določimo območja bonitete, določimo lahko obliko strehe idr.

## 6 SKLEP

Cilj te razprave je podati poljudno predstavitev in povečati zavedanje, kaj DOF dejansko je in kaj vse omogoča. Ni zgolj lepo ozadje, temveč skupek matrik, ki kar kličejo po avtomatiziranih preračunavanjih in drugih obdelavah za najrazličnejše potrebe. Z malce prilagoditev lahko uporabimo večino algoritmov, namenjenih analizi in interpretaciji optičnih satelitskih podob. Pri tem gre omeniti, da je v primerjavi s slednjimi DOF vrhunska daljinsko zaznana podoba: zelo visoka prostorska ločljivost, primerna spektralna ločljivost, pokritost ozemlja celotne države, zajeta v enakih in kar najbolj ustreznih razmerah (brezoblačno, čim manj senc, čim manj bujna vegetacija) idr. Zato bi morali DOF izkoristiti, kolikor je le mogoče. Ideje na plano, zagotovo jih ne manjka pri nobenem od uporabnikov. Za tehnološko izvedbo z analitičnimi orodji za obdelavo in interpretacijo podatkov daljinskega zaznavanja pa bodo znale poskrbeti znanstvene institucije, ki sodelujejo z geodetsko službo.

## Literatura in viri:

- Boredpanda (2020). This is how birds see the world as compared to humans and it's pretty amazing. [https://www.boredpanda.com/human-vs-bird-vision/?utm\\_source=google&utm\\_medium=organic&utm\\_campaign=organic](https://www.boredpanda.com/human-vs-bird-vision/?utm_source=google&utm_medium=organic&utm_campaign=organic), pridobljeno 20. 8. 2020.
- BrainKart (2020). Spectral signature concepts – typical spectral reflectance characteristics of water, vegetation and soil. [https://www.brainkart.com/article/Spectral-Signature-Concepts-Typical-Spectral-Reflectance-Characteristics-Of-Water,-Vegetation-And-Soil\\_4470/](https://www.brainkart.com/article/Spectral-Signature-Concepts-Typical-Spectral-Reflectance-Characteristics-Of-Water,-Vegetation-And-Soil_4470/), pridobljeno 20. 8. 2020.
- Davis, R. (2020). Why can't humans see ultraviolet light? Quora. <https://www.quora.com/Why-cant-humans-see-ultraviolet-light>, pridobljeno 20. 8. 2020.
- eGP (2020). Portal prostor. e-Geodetski podatki. Geodetska uprava Republike Slovenije, <https://egp.gu.gov.si/egp/>, pridobljeno 15. 8. 2020.
- GURS (2020). Podatki IR DOF. Dobljeno po pošti dne 21. 2. 2020.
- Imgur (2020a). Pigeon selfie circa 1910. <https://imgur.com/3CNg1uh>, pridobljeno 15. 8. 2020.
- Imgur (2020b). A collection of amazing-looking eyes from 15 different animals. <https://imgur.com/gallery/S8e0jkh>, pridobljeno 15. 8. 2020.
- Krotec, B. (2020). 50-letnica ustanovitve in pričetka dejavnosti lastne aerosnemalne službe v Sloveniji. Geodetski vestnik, 64 (2), 257–264. [http://www.geodetski-vestnik.com/64/2/gv64-2\\_krotec.pdf](http://www.geodetski-vestnik.com/64/2/gv64-2_krotec.pdf), pridobljeno 20. 8. 2020.
- MIDOPT (2020). Healthy crop. <https://midopt.com/healthy-crop/>, pridobljeno 20. 8. 2020.
- NEON, National Ecological Observatory Network (2020). Raster 00: Intro to raster data in R. <https://www.neonscience.org/dc-raster-data-r>, pridobljeno 10. 8. 2020.
- Oštir, K. (2006). Daljinsko zaznavanje. Ljubljana: Založba ZRC. <https://iaps.zrc-sazu.si/sites/default/files/9616568728.pdf>, pridobljeno 10. 10. 2006.
- Resolveoptics (2020). Aerial surveillance camera 600-2. <https://www.resolveoptics.com/2017/12/aerial-surveillance-camera/aerial-surveillance-camera-600-2/>, pridobljeno 15. 8. 2020.

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

Območna geodetska uprava Murska Sobota  
Murska Sobot, Lendavska ulica 18, SI-9000 Murska Sobot  
e-naslov: [andreja.svab-lenarcic@gov.si](mailto:andreja.svab-lenarcic@gov.si)





# NOVICE IZ STROKE NEWS FROM THE FIELD



REPUBLIKA SLOVENIJA  
MINISTRSTVO ZA OKOLJE IN PROSTOR

GEODETSKA UPRAVA REPUBLIKE SLOVENIJE

## NOVICE GEODETSKE UPRAVE RS

### REDNO VZDRŽEVANJE PODATKOV IN OZNAČBE POTEKA DRŽAVNE MEJE

Na delovno področje geodetske uprave RS spada tudi vzdrževanje označb poteka državne meje, vzpostavitev podatkovne zbirke in posodabljanje podatkov o državni meji. Geodetska dela pri vzdrževanju državne meje z Italijo, Avstrijo in Madžarsko se izvajajo skladno z določili meddržavnih pogodb in na podlagi sklepov meddržavnih komisij. V evidenci državne meje, ki je temeljna evidenca o mejnih točkah na državni meji, se shranjujejo in posodablajo podatki o številkah točk državne meje, sektorju državne meje, načinu označitve točk ter oznakah in koordinatah točk v obeh državnih koordinatnih sistemih. Mejne točke opisujejo potek državne meje Republike Slovenije, ki je skladen z opisom državne meje iz meddržavnih pogodb. Poleg vzdrževanja same evidence je treba izvajati strokovno-tehnična opravila v zvezi z označevanjem mejne črte. To v praksi pomeni vzdrževanje mejnih znamenj, določanje njihovih koordinat in zagotavljanje vidnosti mejne črte.



Slika 1: Helikopterska pomoč policije pri delu na terenu (foto: K. Medved).

Eden najzahtevnejših odsekov (v smislu terenskega vzdrževanja) je I. sektor državne meje med Slovenijo in Italijo, ki poteka od Tromeje do prelaza Predel. Meja je speljana večinoma po visokogorju, njena najvišja točka pa je Mangart z 2679 metri. Na terenu je mejna črta tega sektorja označena z več kot dvesto mejnimi znamenji, ki pa niso bila pregledana (vzdrževana) že več kot dvajset let, saj je dostop do posameznih točk zelo otežen in na nekaterih odsekih zahteva »alpinistično znanje«. Poleg tega je čas za sanacijo odseka relativno kratek, saj morajo vremenske razmere omogočati gibanje v visokogorju (pozno

poleti, zgodaj jeseni), da se terenskim ekipam zagotovi varno delo. Na srečo imamo na geodetski upravi posameznike, ki v prostem času radi planinarijo in so torej vajeni tudi nekoliko zahtevnejših terenov.

Tako smo v zadnjih letih na uradu za geodezijo sistematično pregledovali/vzdrževali/merili ta mejni sektor in dela letos tudi dokončali. Pri tem smo sodelovali z letalsko policijsko enoto, ki je poskrbela za helikopterski prevoz materiala in ljudi na težko dostopne lokacije v visokogorju. S svojim strokovnim znanjem, izkušnjami in zanesljivostjo so omogočili predvsem varno ter hitro opravljanje nalog, zato se jim ob tej priložnosti zahvaljujemo za sodelovanje.

Veseli nas, da je uspešno opravljeno obsežno, zelo zahtevno in nevarno terensko delo pri rednem vzdrževanju slovensko-italijanske državne meje.



Slika 2: Primer poškodovanega (levo) in obnovljenega (desno) mejnega znamenja (foto: K. Medved).



Slika 3: Primer oznake poteka državne meje v skali (levo) in določevanje položaja mejnega znamenja z izmero GNSS (desno) (foto: K. Medved).

Zapisal: mag. Klemen Medved, za Geodetsko upravo RS  
e-naslov: klemen.medved@gov.si

## OBJAVLJENI PRELIMINARNI PODATKI O SLOVENSKEM NEPREMIČNINSKEM TRGU ZA PRVO POLLETJE 2020

Geodetska uprava RS je na spletni strani objavila preliminarne podatke o slovenskem nepremičninskem trgu za prvo polletje 2020. Letos je pandemija covid-19 za nekaj časa tako rekoč zaustavila sklepanje poslov na slovenskem nepremičninskem trgu.

V Sloveniji je bilo do 15. julija za prvo polletje letošnjega leta evidentiranih približno 10.800 sklenjenih kupoprodajnih pogodb za nepremičnine, katerih skupna vrednost je znašala nekaj manj kot 770 milijonov evrov. V primerjavi z drugim polletjem 2019 sta se tako evidentirano število sklenjenih kupoprodajnih poslov kot njihova skupna vrednost zmanjšali za približno 40 %. V primerjavi s prvim polletjem 2019 je bilo število poslov manjše za 40 %, njihova vrednost pa za 45 %. Približno 5450 transakcij s stanovanjskimi nepremičninami je bilo evidentiranih do 15. julija za prvo polletje letošnjega leta. Število evidentiranih kupoprodaj stanovanj se je v primerjavi z drugim polletjem 2019 zmanjšalo za 37 %, v primerjavi s prvim polletjem pa za 36 %. Število evidentiranih kupoprodaj stanovanjskih hiš se je v primerjavi s prejšnjim polletjem zmanjšalo za 38 %, v primerjavi z enakim obdobjem lani pa za 37 %.

V marcu 2020, ko je bila razglašena epidemija covid-19, se je število transakcij s stanovanji zmanjšalo za 28 %, v aprilu, ko je bilo poslovanje z nepremičninami tako rekoč onemogočeno, pa še za nadaljnjih 47 %. Tako je bilo aprila v primerjavi s februarjem število transakcij manjše že za 62 %, v primerjavi z aprilom 2019 pa za 68 %. Število realiziranih transakcij s stanovanji je takoj po omilitvi omejitev zaradi preprečevanja širjenja virusa poskočilo. Maja je v primerjavi z aprilom zraslo za 68 %. Še vedno pa je bilo število evidentiranih transakcij s stanovanji za 36 % manjše kot pred epidemijo februarja oziroma za 45 % manjše kot maja 2019. Število transakcij s stanovanjskimi hišami je bilo marca 2020 za 21 %, aprila pa že za 49 % manjše kot februarja oziroma za 67 % manjše kot aprila 2019. V maju se je število transakcij s stanovanjskimi hišami povečalo za 54 %. V primerjavi s februarjem 2020 je bilo sicer še vedno manjše za 38 %, v primerjavi z majem 2019 pa skoraj za polovico.

Po do sedaj evidentiranih podatkih je epidemija covid-19 vplivala na primarni trg stanovanjskih nepremičnin bolj kot na sekundarnega, kar kaže na razumljivo večjo zadržanost kupcev novogradenj med epidemijo. Predvsem število transakcij z novimi stanovanji je v prvem polletju letošnjega leta upadlo bolj kot število transakcij z rabljenimi stanovanji. Medtem ko je bilo evidentirano število kupoprodaj rabljenih stanovanj v primerjavi s prvim in drugim polletjem 2019 manjše za približno 35 %, je bilo število kupoprodaj novih stanovanj manjše za več kot 70 %. Preliminarne analize gibanja cen rabljenih stanovanj, ki praviloma najbolje odraža trende cen stanovanjskih nepremičnin, kažejo, da so v Sloveniji cene v prvem polletju letošnjega leta še naprej rasle, ne glede na zmanjšanje prometa zaradi epidemije covid-19. Po sicer še precej nepopolnih podatkih so se v prvem polletju letošnjega leta cene rabljenih stanovanj v Sloveniji v primerjavi z drugim polletjem 2019 zvišale za 3 %, v primerjavi s prvim polletjem 2019 za 7 % in v primerjavi s prvim polletjem 2018 za 11 %. Povprečna cena rabljenega stanovanja na ravni države je prvič preseгла mejo 1900 EUR/m<sup>2</sup>.

Opozoriti je treba, da gre del statističnega zvišanja povprečne cene na ravni države v prvem polletju 2020 tudi na račun večjega deleža Ljubljane, kjer so cene stanovanj najvišje, v skupnem številu transakcij s stanovanji. Po preliminarne podatkih se je namreč delež Ljubljane v skupnem številu upoštevanih transakcij (skupna velikost vzorca) povečal z običajnih okoli 25 % na skoraj 30 %.

Ne glede na vse pa se število nepremičninskih transakcij v prvem letošnjem polletju vendarle ni zmanjšalo tako drastično, kot je bilo glede na okoliščine morda pričakovati, predvsem zaradi realizacije poslov, sklenjenih pred razglasitvijo epidemije, in hitrega okrevanja nepremičninskega trga po preklicu epidemije. Na splošno so cene stanovanjskih nepremičnin, kljub velikemu dvomesečnemu upadu števila transakcij, še naprej rasle. Njihova statistična rast sicer ni presenetljiva. Podobnemu pojavu smo bili priča leta 2008, ko je bil po nastopu krize nepremičninskega trga upad števila transakcij še precej večji, cene pa so prav tako zrasle. V takšnih razmerah se namreč prodajajo le še »boljša« in že tako relativno dražja stanovanja, katerih cene pa se zaradi inercije trga še ne znižujejo. Končne ocene vpliva pomladanskih »protikoronskih« ukrepov bomo lahko podali v jesenskem poročilu o nepremičninskem trgu, ko bodo podatki o prometu in cenah nepremičnin v prvem polletju letošnjega leta bolj ali manj dokončni.

Za nadaljnjo dejavnost trga in gibanje cen nepremičnin v letošnjem letu bodo odločilne gospodarske posledice epidemije in njihov vpliv na kupno moč prebivalstva, vsekakor pa tudi nadaljnji potek epidemije. Kot kaže, smo se za zdaj večji krizi nepremičninskega trga izognili, ponovna zaustavitev poslovanja z nepremičninami zaradi naslednjega vala epidemije pa bi skoraj gotovo vodila v globljo in dolgotrajnejšo krizo slovenskega nepremičninskega trga.

*Vir: Geodetska uprava RS*

## PREDLOG ZAKONA O KATASTRU NEPREMIČNIN

Ministrstvo za okolje in prostor RS je konec leta 2019 opravilo medresorsko obravnavo osnutka Zakona o katastru nepremičnin, ki ga je pripravila geodetska uprava RS. Na podlagi prejetih pripomb je nato v prvi polovici julija 2020 opravilo ponovno medresorsko obravnavo. Sprejetje zakona je predvideno v letu 2020, najkasneje v začetku 2021., saj je povezano z informacijsko prenovno nepremičninskih evidenc, ki se izvaja v okviru projekta eProstor.

Glavni cilj novega Zakona o katastru nepremičnin je vzpostavitev enotne evidence, imenovane »kataster nepremičnin«, v kateri bodo združeni podatki o parcelah, stavbah in delih stavb v Republiki Sloveniji. Namen vzpostavitve enotne evidence o nepremičninah je zagotavljanje medsebojne usklajenosti podatkov o posameznih entitetah, s tem pa tudi kakovostnega in lažjega dostopa do evidentiranih podatkov. Uveljavljajo se novi načini vlaganja vlog v podpori informacijsko-komunikacijske tehnologije, kar omogoča pospešitev postopkov vpisa sprememb, razvijanje novih storitev posredovanja obdelanih podatkov o nepremičninah in zagotovitev dostopa do celovitih podatkov o nepremičninah na enem mestu. Poleg katastra nepremičnin zakon obravnava področje registra prostorskih enot, evidence državne meje in registra naslovov, ki je nova evidenca in združuje vse podatke, ki sestavljajo naslov v Republiki Sloveniji. Bistvena novost glede na sedanje stanje je, da bodo vse evidence informacijsko združene v enem informacijskem sistemu, to je v informacijskem sistemu kataster.

Zakon o katastru nepremičnin prinaša spremembe predvsem na področju naslednjih vsebin:

- vzdrževanje podatkov o parcelah, stavbah in delih stavb v enotni evidenci,
- določitev enotnega postopka – tako imenovanega »katastrskega postopka«,



- evidentiranje območja služnosti in območja stavbne pravice v katastru,
- začasni vpis podatkov v kataster nepremičnin za območje služnosti in stavbne pravice,
- shranjevanje in vzdrževanje podatkov o sestavinah delov stavb (na primer atrijev, parkirnih mest),
- evidentiranje podatkov ob upoštevanju pravne varnosti lastnikov nepremičnin; dodan je nov inštitut strokovne napake, v okviru katerega se lahko stranka, ki zatrjuje, da se je v katastrskem postopku zgodila strokovna napaka, pritoži (tako imenovano drugo mnenje).

Predlog zakona določa dve poti vpisa podatkov o nepremičninah v kataster nepremičnin. Prva je vpis podatkov o nepremičninah z elaboratom, ki ga izdela geodetsko podjetje, projektant za nekatere spremembe podatkov, dogovorjene v zakonu, ali pa sodni izvedenec. Drugi način vpisa podatkov pa je vloga brez elaborata, pri čemer podatke predloži vlagatelj na predpisanem obrazcu.

Vzporedno s pripravo zakona se v okviru projekta eProstor izvaja tudi informacijska prenova nepremičninskih evidenc. Bistven prispevek informacijske prenove je vodenje vseh podatkov v enotni, povezani podatkovni zbirki (informacijski sistem kataster), elaborate bo v informacijski sistem katastra vlagalo geodetsko podjetje (ali projektant ali sodni izvedenec), s čimer se bodo tehnične pomanjkljivosti elaborata preverile že ob njegovi oddaji. Prav tako bo zahtevo za vpis podatkov oddalo geodetsko podjetje (ali projektant ali sodni izvedenec) kot pooblaščenec vlagatelja.



Slika 4: Primer vizualizacije podatkov katastra nepremičnin.

Vir: eProstor in Geodetska uprava RS

Zapisala: mag. Ema Pogorelčnik, za Geodetsko upravo RS

e-naslov: [ema.pogorelcnik@gov.si](mailto:ema.pogorelcnik@gov.si)

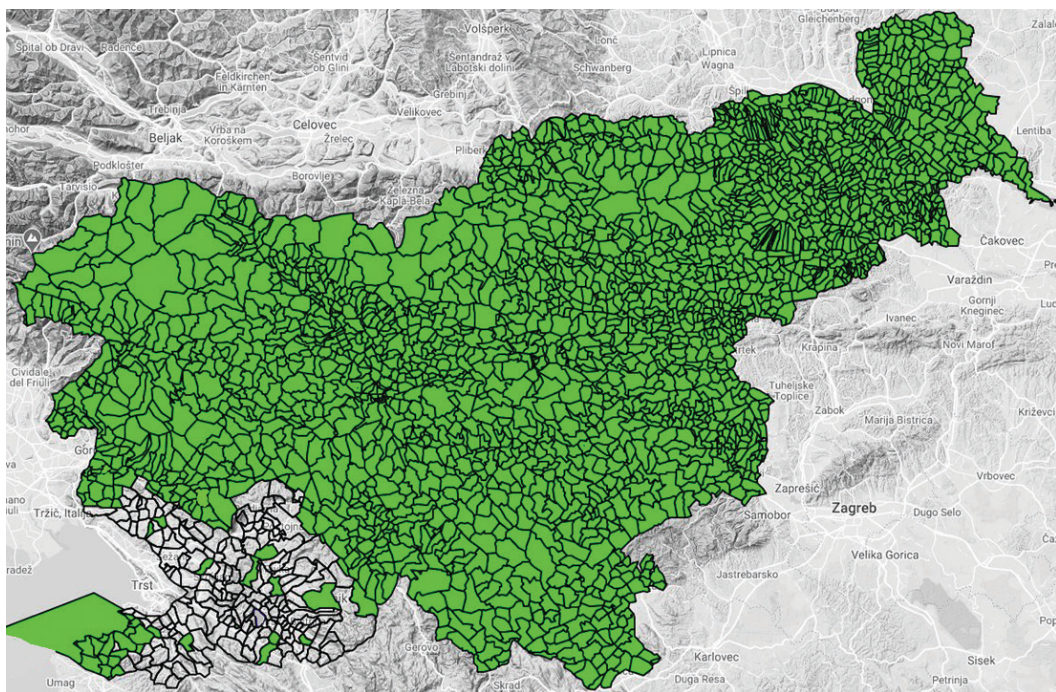
## DESETA FAZA IZBOLJŠAVE ZEMLJIŠKOKATASTRSKEGA PRIKAZA

Projekt *Lokacijska izboljšava zemljiškokatastrskega prikaza*, ki je časovno umeščen od marca 2018 do oktobra 2020, se izvaja skladno s sprejetim časovnim načrtom. Operativna skupina geodetske uprave, ki na podlagi podatkov iz evidence zemljiškega katastra in dodatno pridobljenih podatkov zunanjega izvajalca skrbi za izboljšavo po posameznih katastrskih občinah, je v avgustu 2020 končala obdelavo podatkov iz območja

devete faze (območna geodetska uprava Nova Gorica ter geodetske pisarne Ajdovščina, Idrija in Tolmin).

Konec avgusta 2020 se je začela obdelava podatkov iz območja desete faze. V njenem okviru bodo izboljšani podatki zemljiškokatastrskega prikaza 207 katastrskih občin na območju območne geodetske uprave Koper ter geodetskih pisarn Postojna in Sežana.

V celoti je izboljšava že predhodno dokončana na območjih geodetskih pisarn: Murska Sobota, Lendava, Novo mesto, Črnomelj, Brežice, Sevnica, Krško, Trbovlje, Litija, Slovenj Gradec, Velenje, Mozirje, Slovenske Konjice, Slovenska Bistrica, Gornja Radgona, Ljutomer, Celje, Šentjur pri Celju, Šmarje pri Jelšah, Žalec, Domžale, Grosuplje, Ljubljana, Logatec, Kočevje, Maribor, Ptuj, Kranj, Radovljica, Škofja Loka in dela geodetske pisarne Koper. Do konca avgusta 2020 je bilo skupno obdelanih že 2515 katastrskih občin, kar pomeni 93 % vseh katastrskih občin. Zunanji izvajalec, ki s terenskimi meritvami in drugimi metodami zajema podatke, potrebne za izvedbo izboljšave, je končal zajem podatkov za vse faze. Rezultati lokacijske izboljšave se sproti vključujejo v evidenco zemljiškega katastra, tako v produkcijsko kot tudi distribucijsko okolje.



Slika 5: Katastrske občine, v katerih je bila izboljšava ZKP že izvedena (avgust 2020; vir: Geodetska uprava RS).

Vir: eProstor in Geodetska uprava RS

Zapisal: Franc Ravnihar, za Geodetsko upravo RS

e-naslov: franc.ravnihar@gov.si

## PROJEKT V ENO MREŽO VPETIH 200 LET PROSTORSKIH INFORMACIJ MED FINALISTI NATEČAJA PREMIK NAPREJ 2020

Na Fakulteti za upravo Univerze v Ljubljani so tudi v letošnjem letu v okviru XXVII. Dnevor slovenske uprave pripravili natečaj Premik naprej 2020, katerega namen je predstaviti in promovirati inovativne rešitve za učinkovitejšo in uspešnejšo javno upravo. Na natečaj je prispelo 15 prijav. Vsak prijavljeni projekt oziroma rešitev predstavlja posebno izboljšavo na posameznem problemskem področju. Strokovna komisija, sestavljena iz strokovnjakov s področja javnega sektorja, je na podlagi meril aktualnost, inovativnost, učinki uporabe izboljšave in širša družbena korist izbrala pet finalistov natečaja (po abecednem redu naslovov projektov), in sicer:

- Avtomatizacija prenosa podatkov med zaledno aplikacijo prekrškovnega organa in mobilnimi enotami pri obravnavi in odvozu zapuščenih in nepravilno parkiranih vozil. Prijavitelj: Mestno redarstvo Mestne občine Ljubljana.
- Model osrednjega klicnega centra za obveščanje in ozaveščanje javnosti v času epidemije. Prijavitelj: Urad Vlade Republike Slovenije za komuniciranje.
- Platforma za upravljanje z invazivnimi tujerodnimi rastlinami. Prijavitelj: Mestna občina Ljubljana.
- Unovčevanje turističnih bonov. Prijavitelj: Finančna uprava Republike Slovenije.
- V eno mrežo vpetih 200 let prostorskih informacij. Prijavitelj: Geodetska uprava Republike Slovenije.

Predlog geodetske uprave je povezan s programom projektov eProstor. Izvedena izboljšava je na eni strani tehnično in strokovno najobsežnejša naloga, na drugi strani pa velik miselni preskok v dojemanju prostorskih podatkov, ki najbolj zaposluje Geodetsko upravo RS in tudi druge deležnike geodetske stroke. Svet je danes zaradi razvoja in splošne dostopnosti tehnologij vse bolj digitalen in povezan, zato je treba tudi prostorske podatke oziroma informacije o nepremičninah in druge podatke pretvoriti v digitalno obliko ter jih vpeti v enotno državno infrastrukturo za prostorske informacije, ki je združljiva z evropsko infrastrukturo. Takšna digitalizacija prostorskih podatkov omogoča raznoliko uporabnost,



# DRUŠTVENE NOVICE NEWS FROM SOCIETIES



## NOVICA ZVEZE GEODETOV SLOVENIJE

### VOLILNA SKUPŠČINA ZVEZE GEODETOV SLOVENIJE 2020, SLAP PRI VIPAVI, 4. 9. 2020

Tokratni prvi sončen septembrski petek je v Vipavsko dolino privabil predstavnike Zveze geodetov Slovenije in sedmih geodetskih društev. Zbrali smo se v čudovitem ambientu gostitelja Vina Petrič v Slapu pri Vipavi.

Zaradi odločitve predsednika mag. Blaža Mozetiča, ki je konec leta 2019 članom izvršnega odbora Zveze geodetov Slovenije podal odstopno izjavo, je bila sprva predvidena skupščina 12. marca 2020, na dan pred izvedbo Geodetskega dneva 2020. Takratne negotove razmere in pojav *koronavirusa SARS-CoV-2* ter bolezni *covid-19* pa so bile razlog, da je bila skupščina Zveze geodetov Slovenije prestavljena.



Slika 1: Udeleženci skupščine.



Slika 2: Delovno predsedstvo.

Predsednik Zveze geodetov Slovenije mag. Blaž Mozetič je v uvodu pozdravil vse navzoče ter preveril sklepčnost. Skupščina je bila sklepčna, saj je bilo prisotnih več kot polovica delegatov, od katerih so bila zastopana vsa geodetska društva. Predsednik je podal predlog delovnega predsedstva, ki je bil soglasno potrjen.

V nadaljevanju je prevzel besedo predsednik delovnega predsedstva g. Jože Dajnko in glede na dnevni red predal besedo mag. Blažu Mozetiču, da navzočim poda poročilo o delovanju zveze za leto 2019. Na kratko je bilo predstavljeno vsebinsko in finančno poročilo, na katerega ni bilo pripomb. Že pred skupščino sta bili namreč nadzornemu odboru posredovani v pregled finančno poročilo, članom izvršnega odbora pa poročilo o delu za leto 2019. Glede članarine je izvršni odbor posredoval mnenje, da ostane



nespremenjena, kar je bilo tudi izglasovano na skupščini. Predsednik, ki je zvezo vodil od leta 2017, se je zahvalil za sodelovanje v predčasno zaključenem mandatu. Pomembni dogodki so se vrstili v društvenem, strokovnem prostoru kot tudi na mednarodni ravni.



Slika 3: Predsednik mag. Blaž Mozetič.



Slika 4: Kandidat za predsednika ZGS dr. Tilen Urbančič.

V nadaljevanju je sledil najpomembnejši del – volitve novega predsednika Zveze geodetov Slovenije. Za položaj sta prispeli dve kandidaturi, in sicer je Ljubljansko geodetsko društvo predlagalo asist. dr. Tilna Urbančiča, dolenjsko geodetsko društvo pa mag. Gregorja Klemenčiča. Kandidata sta predstavila svoje dosedanje delo, kandidaturo in program za naslednja štiri leta.

Mag. Gregor Klemenčič je predstavil dosedanje poklicno pot ter kot direktor podjetja v gospodarstvu podal ključne točke, na katerih se bo zavzemal ob morebitni izvolitvi. Sledila je predstavitev kandidata Tilna Urbančiča, zaposlenega na Fakulteti za gradbeništvo in geodezijo, ter njegovih ključnih ciljev na področju delovanja Zveze geodetov Slovenije.

Oba kandidata sta poudarila, da se bosta zavzemala za krepitev regionalnega, strokovnega, medsektorskega in medgeneracijskega sodelovanja. Oba menita, da je treba okrepiti dejavnosti zveze in prispevati k prepoznavnosti stroke v slovenskem prostoru, pripraviti strategijo geodetske stroke, vzpostaviti aktivni stik z javnostjo, se zavzemati za pomembnejšo vlogo pri pripravi zakonodaje idr.

Sledile so volitve za predsednika Zveze geodetov Slovenije, ki so potekale tajno. Še pred tem je predsednik delovnega predsedstva podal predlog glede volilne komisije, in sicer je za predsednika predlagal Aleša Novaka, za člana pa Janeza Dularja in Milana Brajnika. Glasovalo je 32 delegatov sedmih geodetskih društev. Z minimalno razliko je štiriletni mandat dobil mag. Gregor Klemenčič, ki je požel velik aplavz stanovskih kolegov.

Novoizvoljeni predsednik Zveze geodetov Slovenije mag. Gregor Klemenčič se je zahvalil za zaupanje in ponovno poudaril ključne spremembe, za katere se bo zavzemal. Dejal je, da bosta s protikandidatom dr. Tilnom Urbančičem sodelovala na ravni Zveze geodetov Slovenije. Glede na izid volitev je bilo čutiti, da so želje po skupnem delovanju vseh nas, kajti le s sodelovanjem lahko kot stroka in posamezniki dosežemo večjo prepoznavnost. Vsak lahko na svojem področju dodamo kamenček v mozaik nove zgodbe.



Slika 5: Novoizvoljeni predsednik mag. Gregor Klemenčič.

Skupno petkovo popoldansko srečanje smo zaključili, kolikor je bilo zaradi razmer mogoče, ob izvrstni hrani in pijači, sproščenem klepetu in prijetni družbi stanovskih kolegov.

*Jožica Marinko, za Zvezo geodetov Slovenije*  
e-naslov: jozica.marinko@gov.si



DOLENJSKO  
GEODETSKO  
DRUŠTVO

## NOVICA DOLENJSKEGA GEODETSKEGA DRUŠTVA

### DGD IN REDNI LETNI ZBOR ČLANOV

Kljub epidemiološkemu stanju nam je junija le uspelo izpeljati letošnji zbor članov. Tokrat smo si za cilj izbrali vodarno Jezero in Matjaževo domačijo.



Slika 1: Vodarna Jezero.

Voda je pomembna dobrina, je osnovni pogoj za življenje vseh živih bitij. Čeprav prevladuje mišljenje, da je voda nekaj samoumevnega, postaja dostop do nje vse bolj pereča svetovna težava. Zato treba skrbeti tako za kakovost kot za količino pitne vode. Potrebna je tudi odgovornost, ki se začne že pri posamezniku. Za dobro vodo smo odgovorni vsi! Komunala Novo mesto izvaja službo oskrbe s pitno vodo na območju osmih občin, kjer upravlja 860 kilometrov vodovodnega omrežja in približno 19.000 vodovodnih priključkov, s katerimi zagotavlja oskrbo za približno 63.000 uporabnikov. Voda se zagotavlja iz osemnajstih virov, iz katerih letno načrpajo 5,3 milijona m<sup>3</sup> vode. Največji delež prispevata dva vodna vira (Jezero in Stopiče), ki pa sta s stališča kakovosti nestabilna, saj vsako obilnejše deževje povzroči povišanje motnosti. Tako je bilo nezadovoljstvo uporabnikov iz leta v leto večje in iskanje poti za izboljšanje kakovosti vode prednostna naloga pri vlaganju v vodovodno infrastrukturo. Vodno zajetje sestavlja dvanajst vrtin, izvrtanih v dno zbirnega vodnjaka, v obliki krožne pahljače z odmikom od vertikale od 0° do 20°, in globokih med 60 in 70 metri, ter zbirni vodnjak svetlega premera Ø 2.000 mm in globine približno 4,5 metra, ki sega delno pod objekt črpališča. Kasneje (1987) so bile, približno pet metrov severno od zbirnega vodnjaka, izvrtane še štiri dodatne vrtine, ki so zajele še dodatne količine podzemne vode. Skupna izdatnost je ob izdelavi dosegala 220 l/s, a se je s časom znižala, tako da trenutno znaša približno 160 l/s. Kakovost podzemne vode večinoma ni v skladu s pravilnikom o pitni vodi. Motnost v povprečju dosega 2 NTU in ob močnejših padavinah presega vrednosti 10 NTU. Temperatura vode niha v mejah od 17 do 19° C, odvisno od infiltracije meteorne vode. Tudi bakteriološka

slika surove vode ne ustreza kriterijem za pitno vodo, pogosto je kontaminirana tudi s klicami fekalnega izvora.

Vodarno Jezero so začeli graditi v začetku leta 2016. Postavili so nov del vodarne in v celoti rekonstruirali stari objekt iz leta 1974. Posebnost projekta je bila v tem, da je med celotno izvedbo del črpališče Jezero delovalo nemoteno, saj namreč nima rezervnega vodnega vira. Vodarna je bila poskusno zagnana 15. 9. 2016 in od začetka filtracije vse do danes ni bilo potrebno prekuhavanje kot posledica povišane motnosti. Na vodnem viru je bila uporabljena tehnologija čiščenja vode, ki je vključevala predčiščenje z aktivnim ogljem (GAC) in končno ultrafiltracijo (UF). Čiščenje poteka v naslednjih fazah:

- zajem vode s črpalkami in dvig tlaka, primeren za postopek filtracije (2 bara),
- čiščenje z aktivnim ogljem (GAC),
- čiščenje s koagulacijo (samo v izrednih razmerah, dodajanje flokulanta  $\text{FeCl}_3$ ),
- ultrafiltracija (UF),
- dezinfekcija (Cl),
- povratno izpiranje in čiščenje aktivnega oglja ter UF-filtrov.



Slika 2: Geodeti »nad vodo«.

Čiščenje vode poteka v zaporedno vezanem sistemu, tako da je pretok na vseh točkal linije enak oziroma je prek vstopnih črpalk enak vtoku v rezervoar čiste vode. Pretok vstopne črpalke je krmiljen s frekvenčno regulacijo, ki regulira pretok med 40 in 160 l/s. Tlak za črpalkami je nekaj višji od dveh barov in je enoten v celotnem sistemu čiščenja vode. Investicija, ki je bila izvedena v okviru kohezijskega projekta Hidravlična izboljšava vodovodnega sistema na območju osrednje Dolenjske, je uspešen projekt na glede na zaplete, ki so ga spremljali in kot povečini spremljajo vsak večji gradbeni projekt. Problematika motnosti vode iz »pipe« je Dolenjce spremljala od samega začetka vodovoda in je bila tako rekoč povsem običajno stanje, na katero se sčasoma navadiš in se mu prilagodiš. Tako ni bilo nič nenavadnega, da so ob vsakem deževju na »Komunali« zvonili telefoni z vprašanji, ali je voda še pitna in ali jo je že treba prekuhavati. Kaj pomeni prekuhavanje vode in kakšne težave povzroča, najbolj vedo v velikih obratih za pripravo hrane in vrtcih, kjer ni bilo mogoče zagotavljati priprave živil po predpisanem postopku HACCP. Zagon vodarne in neposredni učinek čiščenja vode je zato takoj zaznalo 50.000 uporabnikov. Ker je voda prepletena z našim bivanjem in velik del vseh nas, ni vseeno, kaj popijemo. Če pogledamo



na pridobitev tudi s te plati, je to naložba v zdravje in prav gotovo tudi v višjo kakovost bivanja. (Vir: Odprava motnosti pitne vode s postopkom ultrafiltracije; Komunala Novo mesto, Iztok Zorko) Druženje smo nadaljevali na Matjaževi domačiji v vinorodni gorici Grčevje nad Novim mestom, kjer se družina Pavlin ukvarja z vinogradništvom, nastanitvijo v zidanicah in sprejemi različnih skupin. Več o prijetni domačiji, kjer lahko izkoristite tudi turistične bone, na njihovi spletni strani <https://www.matjazeva-domacija.si/>.



Slika 3: Matjaževa domačija.



Slika 4: Kako je dobro.

Po sprejemu in ogledu domačije smo nadaljevali z rednim zborom članov DGD. Predsednik društva Janez Dular je podal poročilo o delu v preteklem letu. Za nami je delovno leto, saj smo v marcu 2019 uspešno organizirali Geodetski dan v Novem mestu.



Slika 5: Predsedstvo med delom.

Strokovne ekskurzije v letošnjem letu zaradi epidemije ne bomo izvedli v tradicionalnem terminu, ampak



bomo počakali primernejše čase. Pred nami je tudi volilna skupščina ZGS, kjer bo za predsednika ZGS kandidiral naš član mag. Gregor Klemenčič. V nadaljevanju je mag. Brane Kovač predstavil nastajanje svoje knjige, povezane z delom geodeta, predvsem na področju sodnega izvedeništva. Svoja dela je predstavil tudi mag. Janez Slak. Podal je nekaj informacij o projektu eProstor in o izdaji publikacij v njegovem okviru. Poleg že izdane Dediščine katastrov na Slovenskem sta v nastajanju še dve, in sicer Katastrski načrti skozi čas ter Od gosjega peresa do računalniškega oblaka.

Sledil je sprejem novih članov, in sicer smo v svoje vrste sprejeli: Natašo Jožef, Katjo Andrejčič ter Andraž Erčulja. V letošnjem letu se je včlanil tudi Marko Hribar iz UE Grosuplje, ki se zbora ni udeležil in ga sprejem še čaka. Na mladih svet stoji, zato smo še kako veseli vsakega novega obraza!



Slika 6: Sprejem novih članov.

Zbor smo sklenili v prijetnem klepetu ob kozarčku dolenjskega posebneža. Pozdravila nas je tudi hčerka gostitelja v vlogi vinske kraljice 2020. Nazdravili smo s kraljičinim vinom – modro frankinjo plus vinarstva Martinčič. Ni za verjeti, ampak dolenjski geodeti znamo tudi kakšno zapeti.

*Zapisala: Melita Rataj, za Dolenjsko geodetsko društvo  
e-mail: melita.rataj@gov.si*

*Fotografije: Janko Novak, za Dolenjsko geodetsko društvo*

## IN MEMORIAM MARINU VREŠNIKU V SLOVO



1955–2020

Zapustil nas je naš dobri prijatelj in vedno mladostni sodelavec Marino Vrešnik. Spominjali se ga bomo kot človeka, ki je bil poln energije, vedno pozitivno naravnan in pošten do ljudi, tako do sodelavcev kot do strank, ki jih je srečal pri delu.

Rojen je bil 8. novembra 1955 v Ljubljani. Po osnovni šoli se je vpisal na gradbeno tehniško šolo, kjer je leta 1976 pridobil znanje za poklic geometra. Izobraževanje je nadaljeval na Fakulteti za gradbeništvo in geodezijo ter leta 1980 diplomiral.

Večino poklicne poti je prehodil kot vsestranski inženir geodezije na Geodetskem zavodu Slovenije in nato od leta 2008 v Geodetski družbi iz Ljubljane. Čeprav je v glavnem opravljal terenska geodetska dela, je največji pečat pustil na področju komasacij. Takšno delo mu je bilo pisano na kožo, saj je bil rad v stiku z ljudmi. Delal je po vsej Sloveniji, najbolj pri srcu pa so mu bila prekmurska delovišča. A ne glede na to, kje je delal, povsod je pustil delček sebe.

Delati z njim je bilo vedno zanimivo in daleč od dolgočasnega. Terenskih in drugih prilog se je v letih nabralo toliko, da bi za njihov zapis potrebovali kar obsežno knjigo. Mlajšim sodelavcem je bil vedno pravi neformalni mentor. Zelence, ki so šele začeli spoznavati delo na komasacijah, je usmerjal in spodbujal ter jim nesebično pomagal, kadar koli so imeli vprašanja, dileme ali težave. Tako je vzgojil nekaj mladih nadobudnih projektantov komasacij in jim predal štafeto.

Leta 2016 se ga je nenadejano lotila zahrbtna bolezen. Njegova energija in pozitivnost ga žal nista obvarovali. Zapustil nas je 4. 9. 2020.

Veliko smo se družili – na terenu, v pisarni in tudi v prostem času. Vendar, ko gledamo nazaj, še vedno premalo.

Dragi Marino, počivaj v miru.

Vsi tvoji sodelavci iz Geodetske družbe

# DIPLOME IN MAGISTERIJI NA ODDELKU ZA GEODEZIJO UL FGG

OD 1. 5. 2020 DO 31. 7. 2020

## MAGISTRSKI ŠTUDIJSKI PROGRAM DRUGE STOPNJE GEODEZIJA IN GEOINFORMATIKA

David Arnuš      Analiza funkcionalnih regij v Sloveniji po spolu delovno aktivnega prebivalstva  
Mentor:          doc. dr. Samo Drobne  
URL:              <https://repozitorij.uni-lj.si/lzpisGradiva.php?id=117357>

Matic Klančičar      Obdelava kinematičnih terestričnih meritev s Kalmanovim filtrom  
Mentor:          izr. prof. dr. Tomaž Ambrožič  
Somentor:        asist. Gašper Štebe  
URL:              <https://repozitorij.uni-lj.si/lzpisGradiva.php?id=116097>

Aleksandar      Primerjava klasičnega in popolnega ortofota z vidika kakovosti in ekonomičnosti izdelave  
Šašić Kežul  
Mentorica:        doc. dr. Mojca Kosmatin Fras  
Somentorica:     Katja Šušteršič  
URL:              <https://repozitorij.uni-lj.si/lzpisGradiva.php?id=117353>

Leja Špiler          Opazovanje obsega ledu na Grenlandiji z daljinskim zaznavanjem  
Mentor:          prof. dr. Krištof Oštir  
URL:              <https://repozitorij.uni-lj.si/lzpisGradiva.php?id=116124>

Patricija Vrhovšek      Prepoznavanje japonskega dresnika s posnetkov multispektralnega fotoaparata  
Mentor:          doc. dr. Dejan Grigillo  
Somentor:        asist. dr. Klemen Kozmus Trajkovski  
URL:              <https://repozitorij.uni-lj.si/lzpisGradiva.php?id=117358>

## MAGISTRSKI ŠTUDIJSKI PROGRAM DRUGE STOPNJE PROSTORSKO NAČRTOVANJE

Klemen Beličič      Predlog regionalne zasnove prostorskega razvoja turizma na primeru Bele krajine  
Mentorica:        doc. dr. Alma Zavodnik Lamovšek  
Somentor:        doc. dr. Gregor Čok  
URL:              <https://repozitorij.uni-lj.si/lzpisGradiva.php?id=117355>

---

Marko Jalovec    Analiza umestitve središč za oskrbo starostnikov v Sloveniji  
 Mentor:        doc. dr. Samo Drobne  
 URL:            <https://repozitorij.uni-lj.si/lzpisGradiva.php?id=117354>

---

Ana Mestnik    Sonaravni ukrepi v načrtovanju rabe prostora za zmanjšanje erozijske nevarnosti na poplavnih območjih  
 Mentor:        prof. dr. Franc Steinman  
 Somentor:     doc. dr. Gašper Rak  
 URL:            <https://repozitorij.uni-lj.si/lzpisGradiva.php?id=117356>

---

### UNIVERZITETNI ŠTUDIJSKI PROGRAM PRVE STOPNJE GEODEZIJA IN GEOINFORMATIKA

---

Marko Mauhar    Izdelava karte zgornje doline Kolpe iz podatkov OpenStreetMap  
 Mentor:        doc. dr. Dušan Petrovič  
 Somentor:     asist. dr. Klemen Kozmus Trajkovski  
 URL:            <https://repozitorij.uni-lj.si/lzpisGradiva.php?id=116830>

---

Žan Pleterski    Izmera geodetske mreže za izračun premikov točk plazu Čikla  
 Mentor:        doc. dr. Aleš Marjetič  
 Somentor:     asist. dr. Tilen Urbančič  
 URL:            <https://repozitorij.uni-lj.si/lzpisGradiva.php?id=117825>

---

### VISOKOŠOLSKI STROKOVNI ŠTUDIJSKI PROGRAM PRVE STOPNJE TEHNIČNO UPRAVLJANJE NEPREMIČNIN

---

Andraž Dimc    Umestitev Antonijevega rova v Idriji v državni koordinatni sistem  
 Mentor:        doc. dr. Božo Koler  
 Somentor:     asist. dr. Tilen Urbančič  
 URL:            <https://repozitorij.uni-lj.si/lzpisGradiva.php?id=117542>

---

# STRAN ZA POPRAVKE, ERRATA

GEODETSKI VESTNIK ŠT. 2, LETNIK 64

| Stran z napako | Vrstica z napako | Namesto      | Naj bo       |
|----------------|------------------|--------------|--------------|
| 258            | 27               | aerosnemanje | aerosnimanje |





## ORGANIZACIJO SO PODPRLI SPONZORJI



GEODETSKA DRUŽBA

GENERALNI



ZLATI



SREBRNI



BRONASTI



SPONZOR



■ Authorized Leica Geosystems Distributor 1993 - 2018



30 let

40 mio parcel v produkciji

4 države

---

30 years

40 mil cadastral parcels in production

4 countries

Upravljamo s prostorom SKUPAJ

Let's manage e-spatially TOGETHER

[www.igea.si](http://www.igea.si)



**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?**

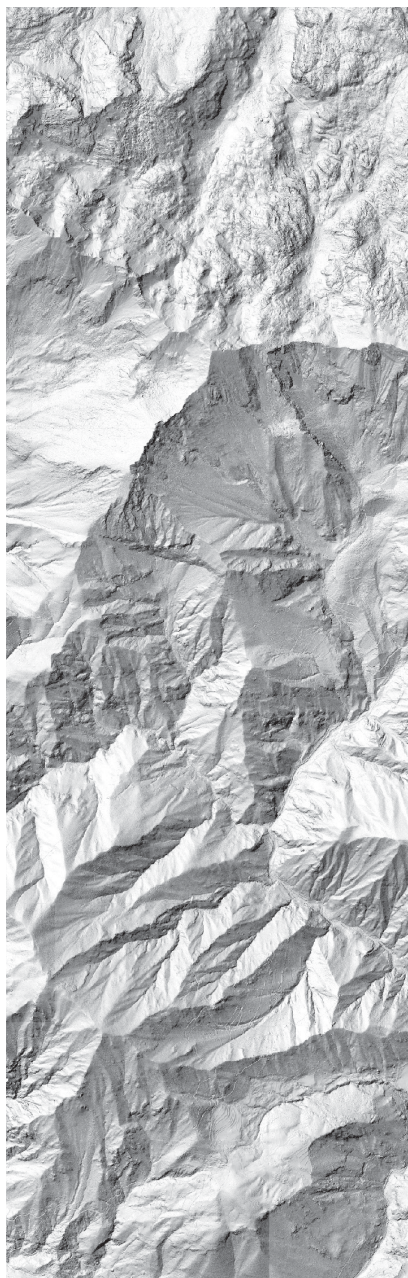
Vpiši se na Fakulteto za gradbeništvo in geodezijo  
 Univerze v Ljubljani z mednarodno priznano diplomom.

**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](mailto:info@gis.si)  
medmrežje: [www.gis.si](http://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](mailto:info@gis.si).





# 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](http://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](http://www.geodetski-vestnik.com).

