

Ispitivanje i analiza duljine olimpijskog bazena

Mladen Zrinjski^{1,2}, Đuro Barković², Kristina Matika²

¹ član suradnik HATZ-a u Odjelu građevinarstva i geodezije, mladen.zrinjski@geof.unizg.hr

² Geodetski fakultet – Sveučilište u Zagrebu, djuro.barkovic@geof.unizg.hr

² Geodetski fakultet – Sveučilište u Zagrebu, kristina.matika@geof.unizg.hr

Sažetak: U radu je analizirano ispitivanje duljine olimpijskog bazena u bazenskom kompleksu Svetice u Zagrebu. Geodetska izmjera duljina 10 plivačkih staza bazena obavljena je ručnim laserskim daljinomjerom. Računskom obradom ustanovljeno je da su duljine plivačkih staza unutar dopuštenih odstupanja od dimenzija koje je propisala Međunarodna plivačka federacija. Prema postignutoj relativnoj točnosti mjerenja, obavljena mjerenja mogu se razvrstati u kategoriju preciznog mjerenja duljina. Iskazan je odnos točnosti mjerenja duljina bazena i vremena na plivačkim natjecanjima. Ustanovljeno je da maksimalno dopušteno odstupanje od propisanih duljina bazena nema utjecaj na rezultate koje ostvare plivači na natjecanjima.

Ključne riječi: olimpijski bazen, precizno mjerenje duljina, ručni laserski daljinomjer, relativna točnost

1. Uvod

S obzirom na princip i fizikalnu osnovu na kojima je zasnovano mjerenje duljina, razlikuju se tri osnovna načina mjerenja: mehaničko, optičko i elektroničko [1]. U ovom radu prikazano je ispitivanje duljina 10 uzdužnih plivačkih staza olimpijskog bazena duljine 50 m u bazenskom kompleksu Svetice u Zagrebu te analiza statističkih parametara mjernih rezultata.

Plivački klub Natator osnovala je hrvatska paraolimpijka Ana Sršen 2003. godine, a glavni cilj bio je stvoriti klub jednakih mogućnosti za sve osobe koje žele plivati. Kako bi rezultati koje ostvare plivači u Zagrebu, u olimpijskom bazenu u bazenskom

kompleksu Svetice, mogli ući na svjetsku i europsku rang listu, cilj tog kluba bio je ulazak u kalendar natjecanja Svjetske paraplivnačke organizacije (engl. *World Para Swimming* – WPS). Uvjet za ulazak u kalendar natjecanja je da olimpijski bazen, tj. duljine plivačkih staza moraju biti umjerene i imati certifikat o dimenzijama Državnog zavoda za mjeriteljstvo [2]. Na zahtjev plivačkog kluba Natator u Zagrebu, Laboratorij za mjerenja i mjernu tehniku Geodetskog fakulteta Sveučilišta u Zagrebu obavio je mjerenje duljina staza olimpijskog bazena u bazenskom kompleksu Svetice u Zagrebu (slika 1). Autori ovog rada nisu mogli pronaći ni jedan objavljeni rad iz područja umjeravanja duljina plivačkih staza olimpijskih bazena.

Iz povijesti je poznato da je čovjek od davnina koristio različite tehnike plivanja kao način prelaska vodenih prepreka. Kao sport, plivanje je u programu Olimpijskih igara od prvih modernih igara 1896. u Ateni, a u programu Paraolimpijskih igara od 1960. održanih u Rimu. Međunarodna plivačka federacija (fr. *Fédération Internationale de Natation* – FINA) zadužena je za organizaciju međunarodnih sportskih natjecanja na vodi, među kojima je i plivanje [3]. Njezin cilj bio je uspostava jedinstvenih pravila za plivanje, ronjenje i vaterpolo koja će se primjenjivati na Olimpijskim i Paraolimpijskim igrama te drugim međunarodnim natjecanjima. FINA je za te potrebe objavila Pravila za bazene i opremu (engl. *The Facilities Rules*) [4]. Jedna od stavki su dimenzije plivačkih bazena i dopuštena odstupanja od propisanih dimenzija.

Prema Pravilima FINA-e standardnim olimpijskim bazenom smatra se bazen duljine 50 m i širine 25 m. Ukoliko se na startnoj i/ili na okretišnoj strani koriste posebne dodirne ploče – senzori, koji služe za kontrolu okreta i mjerenje vremena, a čija debljina iznosi 10 mm, bazen mora biti takve duljine da udaljenost između tih dviju ploča bude 50,000 m. Dopuštena su odstupanja od nominalne duljine, tako da minimalna duljina olimpijskog bazena iznosi 50,020 m, a maksimalna 50,030 m. Broj plivačkih staza u bazenu ovisi o vrsti natjecanja, tako je za potrebe održavanja Olimpijskih igara potrebno osigurati osam staza (1 – 8), a za potrebe održavanja Svjetskih prvenstava 10 staza (0 – 9) [4].



Sl. 1: Olimpijski bazen u bazenskom kompleksu Svetice [5]

2. Obavljena mjerenja

Geodetska izmjera duljina plivačkih staza olimpijskog bazena u bazenskom kompleksu Svetice obavljena je u dvije serije mjerenja ručnim laserskim daljinomjerom Leica DISTO S910 [6]. Preliminarna mjerenja čine prvu seriju mjerenja obavljenu 8. veljače 2019. godine. Podaci druge serije mjerenja, koja je obavljena 1. travnja 2019. godine, u cijelosti su prikazani i analizirani u ovom radu. Mjereni su i atmosferski parametri meteorološkim mjernim uređajem Lufft XA1000 [7] s preciznom temperaturnom i higrometerskom sondom Lufft 8130.TFF [8]. Ručni laserski daljinomjer umjeren je u Nacionalnom laboratoriju za duljinu na Fakultetu strojarstva i brodogradnje Sveučilišta u Zagrebu. Kao rezultat umjeravanja ručnoga laserskog daljinomjera dobivena je vrijednost proširene mjerne nesigurnosti 0,2 mm uz faktor proširenja $k = 2$ i vjerojatnost 95,4%.

Mjerenje je obavljeno u bazenu s djelomično ispražnjenom vodom za potrebe umjeravanja, u vrijeme bez prisutnosti korisnika bazena, tj. plivača. Svaka staza bazena (0 – 9) mjerena je tri puta. Izmjera je obavljena bez postavljenih posebnih dodirnih ploča – senzora, koji služe za kontrolu okreta i mjerenje vremena, a čija debljina iznosi 10 mm. U tablici 1 prikazani su podaci mjerenja koja su obavljena 1. travnja 2019. godine.

Izmjerene vrijednosti duljina popravljene su za adicijsku korekciju te za standardno odstupanje 0,4 mm, koje je određeno umjeravanjem ručnoga laserskog daljinomjera na duljini 50 m. Na temelju korigiranih vrijednosti duljina plivačkih staza, običnom aritmetičkom sredinom određena je srednja vrijednost i pripadajuće standardno odstupanje za svaku stazu pojedinačno. Izračunata su i odstupanja srednje vrijednosti duljine pojedine plivačke staze od minimalne vrijednosti duljine bazena 50,020 m, koja je propisana Pravilima FINA-e.

Tablica 1: Podaci mjerenja duljina plivačkih staza olimpijskog bazena u bazenskom kompleksu Svetice

Oznaka plivačke staze	Izmjerena vrijednost [m]	Korigirana vrijednost [m]	Srednja vrijednost [m]	Standardno odstupanje [mm]	Odstupanje srednje vrijednosti duljine od 50,020 m [mm]
0	50,0385	50,0285	50,02853	0,06	8,53
	50,0386	50,0286			
	50,0385	50,0285			
1	50,0348	50,0248	50,02443	0,32	4,43
	50,0342	50,0242			
	50,0343	50,0243			

2	50,0286	50,0282	50,02823	0,25	8,23
	50,0289	50,0285			
	50,0284	50,0280			
3	50,0265	50,0261	50,02577	0,31	5,77
	50,0261	50,0257			
	50,0259	50,0255			
4	50,0247	50,0243	50,02410	0,35	4,10
	50,0247	50,0243			
	50,0241	50,0237			
5	50,0295	50,0291	50,02913	0,25	9,13
	50,0298	50,0294			
	50,0293	50,0289			
6	50,0289	50,0285	50,02883	0,31	8,83
	50,0295	50,0291			
	50,0293	50,0289			
7	50,0340	50,0240	50,02417	0,15	4,17
	50,0343	50,0243			
	50,0342	50,0242			
8	50,0312	50,0260	50,02587	0,42	5,87
	50,0306	50,0254			
	50,0314	50,0262			
9	50,0396	50,0296	50,02953	0,12	9,53
	50,0394	50,0294			
	50,0396	50,0296			

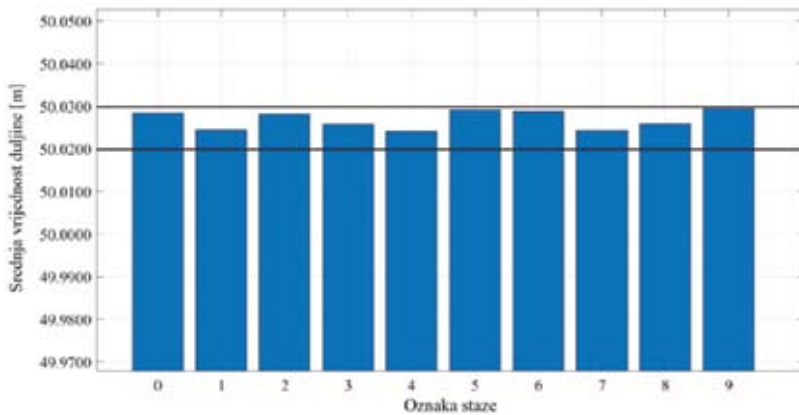
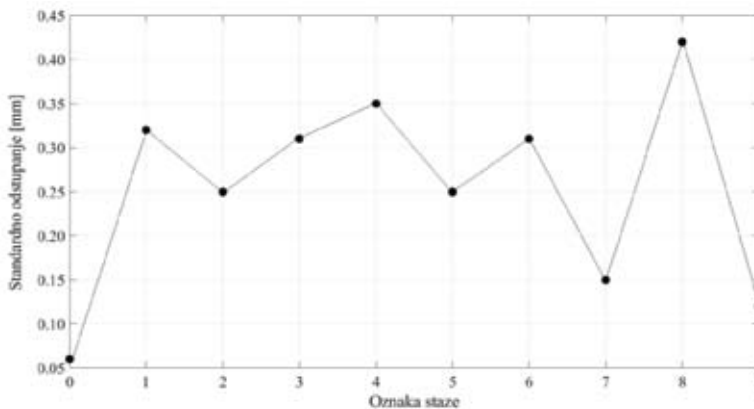
3. Analiza dobivenih rezultata

Iz podataka dobivenih računskom obradom izmjerenih duljina plivačkih staza olimpijskog bazena u bazenskom kompleksu Svetice određena je srednja vrijednost svake staze bazena (slika 2) i odgovarajuće standardno odstupanje (slika 3). Srednje vrijednosti duljina plivačkih staza bazena nalaze se unutar dopuštene minimalne i maksimalne duljine propisane Pravilima FINA-e. Srednja vrijednost duljine svih 10 plivačkih staza iznosi 50,0269 m, a njezino standardno odstupanje 0,25 mm (tablica 2).

Tablica 2: Srednja vrijednost duljine olimpijskog bazena u bazenskom kompleksu Svetice i njezino standardno odstupanje

Parametar	Vrijednost
Srednja vrijednost duljine bazena	50,0269 m
Standardno odstupanje srednje vrijednosti duljine bazena	0,25 mm

Pri mjerenju duljine olimpijskog bazena u bazenskom kompleksu Svetice postignuta je relativna točnost mjerenja 1 : 200 108, što ulazi u kategoriju preciznog mjerenja duljina. Sukladno geodetskoj klasifikaciji duljina prema relativnoj točnosti mjerenja, u precizna mjerenja duljina ubrajaju se ona mjerenja u kojima je postignuta relativna točnost od 10^{-6} do 10^{-5} [9].

**SI. 2:** Srednje vrijednosti duljina plivačkih staza olimpijskog bazena u bazenskom kompleksu Svetice**SI. 3:** Standardna odstupanja srednjih vrijednosti duljina plivačkih staza olimpijskog bazena u bazenskom kompleksu Svetice

Geodetska mjerenja i opažanja su empirijske vrijednosti koje su pogodne za statističku analizu, iako se u većini slučajeva radi o manjem obimu podataka. Statistička analiza obavlja se u svrhu objektivnog i točnijeg razumijevanja te prezentiranja rezultata geodetskih mjerenja. Statistički testovi se u geodeziji najčešće koriste u svrhu provjere kvalitete nekog mjerenja ili rezultata računске obrade mjerenja.

Statističkim testiranjem također je moguće obaviti i usporedbu parametara dva osnovna skupa te se tako mogu uspoređivati pretpostavljene aritmetičke sredine ili varijance dva skupa. Budući da su obavljene dvije serije mjerenja duljine bazena, izračunata su standardna odstupanja za svaku seriju mjerenja te je na temelju tih podataka obavljen statistički test dvaju standardnih odstupanja razdioba vjerojatnosti, poznat pod nazivom Fisherov test.

Iz dvaju statističkih skupova koji su distribuirani po normalnoj razdiobi odabran je po jedan uzorak. Na osnovi tih uzoraka određena su standardna odstupanja statističkih skupova s_1 i s_2 uz broj prekobrojnih mjerenja f_1 i f_2 . Testom je potrebno utvrditi imaju li ti skupovi isto standardno odstupanje. U tu svrhu postavljaju se nulta i alternativna hipoteza [10]:

$$H_0 : \frac{\sigma_1}{\sigma_2} = 1, \quad (1)$$

$$H_a : \frac{\sigma_1}{\sigma_2} > 1. \quad (2)$$

Hipoteza H_0 se može testirati na osnovi uzorka pomoću test statistike F , koja sadrži varijance uzoraka s_1^2 i s_2^2 distribuirane po Fisherovoj razdiobi [10]:

$$F = \frac{s_1^2}{s_2^2}. \quad (3)$$

Hipoteza H_0 se prihvaća ako vrijednost omjera varijanci s_1^2 / s_2^2 izračunatih iz uzoraka zadovoljava uvjet [10]:

$$F = \frac{s_1^2}{s_2^2} < F_{f_1; f_2; 1-\alpha}. \quad (4)$$

Fraktila $F_{f_1; f_2; 1-\alpha}$ za određeni nivo signifikantnosti α uzima se iz statističkih tablica [11]. Ako varijance uzoraka s_1^2 i s_2^2 imaju različitu vrijednost, pri računanju test statistike F u brojnik se treba uvrstiti veća varijanca jer brojevi prekobrojnih mjerenja ne mogu mijenjati redoslijed.

U tablici 3 prikazani su ulazni parametri za provođenje Fisherovog testa te je izračunata test statistika i fraktila. Fraktila $F_{29; 29; 0,95}$ je očitana iz statističkih tablica uz nivo signifikantnosti $\alpha=0,05$ [11]. Statističkim testom se ispituje nulta hipoteza te

se ovisno o rezultatima statističkog testa prihvaća ili odbija nulta hipoteza, odnosno odbija ili prihvaća alternativna hipoteza. Prema podacima u tablici 3, prihvaća se nulta hipoteza uz vjerojatnost 95%. Prihvaćanje nulte hipoteze znači da empirijska standardna odstupanja dviju neovisnih serija mjerenja pripadaju istom uzorku, odnosno da je postignuta ista mjerna nesigurnost mjerenja duljina.

Tablica 3: Parametri statističkog testa dvaju standardnih odstupanja razdioba vjerojatnosti

Parametar	Vrijednost
Standardno odstupanje srednje vrijednosti duljine u 1. seriji mjerenja, s_1	0,25 mm
Standardno odstupanje srednje vrijednosti duljine u 2. seriji mjerenja, s_2	0,25 mm
Broj prekobrojnih mjerenja u 1. seriji mjerenja, f_1	29
Broj prekobrojnih mjerenja u 2. seriji mjerenja, f_2	29
Test statistika, F	1,00
Fraktila, $F_{29; 29; 0,95}$	1,86
Prihvaća se nulta hipoteza H_0	

4. Odnos točnosti mjerenja duljine i vremena

Tehnologija mjerenja vremena na sportskim natjecanjima ključan je dio natjecanja, a daleko je napredovala od sredine 20. stoljeća do danas. Osnovna jedinica za vrijeme je sekunda. Sekunda je trajanje 9 192 631 770 perioda onog zračenja koje odgovara prijelazu između dviju hiperfina razina osnovnog stanja cezija 133 [12].

Danas se za potrebe preciznog mjerenja vremena na sportskim natjecanjima koriste visokotehnološki uređaji, uključujući *high-speed* kamere, elektroničke dodirne ploče, infracrvene zrake, radioodašiljače i slično. Zahvaljujući naprednoj tehnologiji, satovi na plivačkim natjecanjima mogu mjeriti vrijeme s točnošću 10–6 sekunde, ali većina sportskih federacija, kao što je i FINA, imaju tendenciju prikaza vremena na stotinku sekunde [13], [14]. Razlog tome je nedovoljna preciznost izvedbe bazena ili staza za utrku. Izvedba bazena trebala bi biti na razini milimetra kako bi se vrijeme natjecatelja imalo smisla iskazivati na tisućinku sekunde. Bazeni bi trebao biti izgrađeni potpuno simetrično tako da svaka plivačka staza ima istu duljinu na milimetar. Danas su bazeni uobičajeno građeni tako da je razlika u duljini plivačkih staza bazena unutar centimetra koliko je i dopušteno službenim pravilnicima.

Pravilima FINA-e definirana je dopuštena razlika u duljini bazena u iznosu od jednog centimetra. Moguće je razmotriti koliko to maksimalno dopušteno odstupanje ima utjecaj na vrijeme koje ostvare plivači na natjecanjima. Ukoliko se u izračun kao referentno vrijeme i disciplina uzme svjetski rekord u plivanju slobodnim stilom na 50 m u kategoriji muških natjecatelja, koji iznosi 20,91 s, proizlazi da je plivaču pri tom rezultatu za preplivati 1 cm duljine bazena potrebno 0,004 s (tablica 4). Budući da je riječ o četiri tisućinke sekunde, a vrijeme se na natjecanjima iskazuje na stotinku sekunde, proizlazi zaključak da taj jedan centimetar razlike u duljini bazena nema utjecaj na vrijeme koje ostvare plivači.

Postavi li se uvjet da se vrijeme na natjecanjima u plivanju iskazuje na tisućinku sekunde, bazen je građevinski potrebno realizirati s točnošću od milimetra. U tablici 4 izračunat je utjecaj točnosti mjerenja vremena na određivanje duljine bazena čime je potvrđena prethodna misao. Kada bi se vrijeme na natjecanjima u plivanju iskazivalo na tisućinku sekunde, razlika u duljinama staza bazena ne bi smjela biti veća od 2,4 mm ukoliko se u izračun uzme svjetski rekord u plivanju slobodnim stilom na 50 m u kategoriji muških natjecatelja, koji iznosi 20,91 s (tablica 4). S obzirom da se može očekivati poboljšanje svjetskog rekorda u plivanju, u budućnosti treba razmišljati da se kriteriji i dopuštena odstupanja za izgradnju bazena postrože, a time i poveća točnost mjerenja vremena na tisućinku sekunde.

Tablica 4: Odnos točnosti mjerenja duljine i vremena

Svjetski rekord na 50 m: 20,91 s (slobodni stil, muškarci)	
Duljina / vrijeme	
1 cm	0,00418 s
1 mm	0,00042 s
Vrijeme / duljina	
0,01 s	2,391 cm
0,001 s	2,39 mm

5. Zaključak

Geodetskom izmjerom i statističkom analizom duljina plivačkih staza olimpijskog bazena u bazenskom kompleksu Svetice utvrđeno je da je duljina bazena unutar dopuštenog odstupanja kojeg je propisala Međunarodna plivačka federacija. Izrađeno je izvješće o ispitivanju duljine bazena u svrhu izdavanja certifikata o dimenzijama Državnog zavoda za mjeriteljstvo kako bi rezultati koje ostvare plivači u tom bazenu mogli ući na svjetsku i europsku rang listu.

Sukladno dopuštenim odstupanjima od propisanih dimenzija u Pravilima FINA-e, duljine plivačkih bazena se mogu maksimalno razlikovati za jedan centimetar. Prema izračunu u ovom radu dobiveno je da 1 cm duljine bazena, za svjetski rekord u plivanju slobodnim stilom na 50 m u kategoriji muških natjecatelja od 20,91 s, vremenski iznosi 0,004 s. To znači da ukoliko je bazen izrađen sukladno Pravilima ta razlika u duljinama plivačkih staza neće imati utjecaj na vrijeme koje plivači ostvare na natjecanjima.

Ukoliko se postavi uvjet da se vrijeme na natjecanjima u plivanju iskazuje na tisućinku sekunde, izvedba bazena trebala bi biti na razini milimetra, što predstavlja poseban zahtjev za građevinske i geodetske inženjere. Mjerenje duljina je danas u geodeziji najsloženije i najzahtjevnije područje po broju i različitosti konstrukcija instrumenata, posebno zbog razvoja elektroničkih daljinomjera. Prilikom preciznog mjerenja duljina elektrooptičkim daljinomjerima vrlo je važno što točnije izmjeriti atmosferske parametre zraka kroz koji prolazi elektromagnetski val jer je mjerene duljine potrebno korigirati za utjecaj različitih pogrešaka, korekcija i redukcija. Više o preciznom mjerenju duljina u vidu razmatranja pogrešaka mjerenja, korekcija i redukcija pri preciznom mjerenju duljina za potrebe budućih mjerenja kada se kriteriji iskazivanja vremena na sportskim natjecanjima postrože, može se pročitati u [9], [15], [16], [17].

Literatura

- [1] Benčić, D.: *Geodetski instrumenti*, Školska knjiga, Zagreb, (1990).
- [2] Državni zavod za mjeriteljstvo, *Dostupno na*: <https://dzm.gov.hr/>, *Pristupljeno*: 2021-01-14.
- [3] International Swimming Federation, *Dostupno na*: <http://www.fina.org/content/overview-and-history>, *Pristupljeno*: 2021-01-14.
- [4] FINA: *Facilities Rules 2017 – 2021*, International Swimming Federation, Lausanne, Switzerland, (2017).
- [5] Bazenski kompleks Svetice, *Dostupno na*: <https://www.sportskiobjekti.hr/default.aspx?id=7200>, *Pristupljeno*: 2021-01-18.
- [6] Leica DISTO S910, *Dostupno na*: <https://leica-geosystems.com/products/disto-and-leica-lino/leica-disto-packages/leica-disto-s910-pro-pack>, *Pristupljeno*: 2021-01-18.
- [7] Lufft XA1000, *Dostupno na*: <https://www.lufft.com/download/manual-lufft-handheld-xa1000-xp200-xp400-en/>, *Pristupljeno*: 2021-01-18.
- [8] Lufft T/H sonda 8130.TFF, *Dostupno na*: <https://www.lufft.com/products/accessories-310/temperature-humidity-sensor-for-reference-measurements-1881/productAction/outputAsPdf/>, *Pristupljeno*: 2021-01-18.
- [9] Benčić, D.; Solarić, N.: *Mjerni instrumenti i sustavi u geodeziji i geoinformatici*, Školska knjiga, Zagreb, (2008).
- [10] Feil, L.: *Teorija pogrešaka i račun izjednačenja – drugi dio*, Geodetski fakultet Sveučilišta u Zagrebu, Zagreb, (1990).

- [11] Pavlič, I.: *Statistička teorija i primjena*, Tehnička knjiga, Zagreb, (1970).
- [12] BIPM – Bureau International des Poids et Mesures: *The International System of Units (SI)*, 9th Edition of the SI Brochure, International Bureau of Weights and Measures, Saint-Cloud, France, (2019).
- [13] OMEGA, *Dostupno na*: <https://www.omegawatches.com/planet-omega/sport/olympic-games>, *Pristupljeno*: 2021-01-20.
- [14] Technology's Touch: How a Photo Finish in the Olympic Pool Gets Resolved, *Dostupno na*: <https://olympics.time.com/2012/07/27/technologys-touch-how-a-photo-finish-in-the-olympic-pool-gets-resolved/>, *Pristupljeno*: 2021-01-20.
- [15] Zrinjski, M.: *Definiranje mjerila kalibracijske baze Geodetskog fakulteta primjenom preciznog elektrooptičkog daljinomjera i GPS-a*, doktorska disertacija, Geodetski fakultet Sveučilišta u Zagrebu, Zagreb, (2010).
- [16] Barković, Đ.; Zrinjski, M.; Baričević, S.: Automatizacija ispitivanja preciznosti elektrooptičkih daljinomjera na kalibracijskoj bazi, *Geodetski list*, **70** (2016) 4, 311-336.
- [17] Zrinjski, M.; Barković, Đ.; Baričević, S.: Precise Determination of Calibration Baseline Distances, *Journal of Surveying Engineering*, 145 (2019) 4, 1-9.