



ПРОЈЕКАТ ГЕОДЕТСКОГ ОБЕЛЕЖАВАЊА И ИЗРАДЕ ИЗВЕДЕНОГ СТАЊА
МОСТА ПРЕКО САВЕ У ОСТРУЖНИЦИ

GEODETIC SURVEY PROJECT AND MAKING OF THE AS BUILD STATE PROJECT
OF BRIDGE OVER SAVA IN OSTRUŽNICA

Абел Леваи, Факултет техничких наука, Нови Сад

Област – ГЕОДЕЗИЈА И ГЕОМАТИКА

Кратак садржај – У овом раду описана је методологија праћења мостовских конструкција током изградње, која укључује фазе пројектовања и реализације геодетске микромреже као и прорачун тачности обележавања карактеристичних тачака конструкције. У експерименталном делу рада обрађен је пример моста преко Саве у Остружници.

Кључне речи: геодетска микромрежа, математички модел обраде података, пројекат геодетског обележавања, пројекат изведеног стања

Abstract – This paper describes the methodology of geodetic survey during bridge construction, which includes the phases of designing and implementation of geodetic micronetworks and also the calculation of the accuracy of geodetic survey of the characteristic points of the structure. In the experimental part the example of the Bridge over Sava in Ostružnica is processed.

Keywords: geodetic micro-network, mathematic model of data processing, project of geodetic survey, project of as build state

1. УВОД

Инжењерска геодезија је посебна област геодезије која обухвата развој и оптимизацију мерених концепата, анализу података заснованих на различитим техничким и нетехничким критеријумима и примену теоријско-методичких, као и нумеричких приступа симулације и оптимизације.

Инжењерска геодезија код изградње објеката има за циљ просторно лоцирање објеката и обезбеђење да геометрија изграђеног објекта буде сагласна пројектованој у границама толеранција грађења и монтаже. Ова област геодезије обезбеђује квалитетно просторно позиционирање објекта, планирањем, организовањем и извршењем одговарајућих геодетских радова. Успешно извођење геодетских радова оствариће се изградом и реализацијом одговарајуће геодетско-техничке документације. Геодетски радови код изградње објеката извршавају се у неколико фаза: израда програма геодетских радова; израда пројеката геодетских радова; реализација пројеката геодетских радова

НАПОМЕНА:

Овај рад је проистекао из мастер рада чији ментор је био др Зоран Сушић, ванр. проф.

и израда елабората о реализацији пројеката геодетских радова [1].

2. ГЕОДЕТСКЕ МРЕЖЕ У ПОСТУПКУ ПРОЈЕКТОВАЊА И ГРАЂЕЊА МОСТОВА

Уопштено, геодетске мреже дефинишу се као: “Скуп геодетских тачака/репера, датих и тражених, са скупом мерених величина L_1, L_2, \dots, L_n , које могу бити разнородне, назваћемо геодетском мрежом, ако између ових n мерених величина можемо наћи q ($q \leq u < n$) независних које ћемо звати неопходним, таквих да било који елемент (величину) у мрежи, чија врста припада врсти мерених величина, можемо изразити помоћу тих q неопходних величина.” Важно је напоменути да u означава број тражених, непознатих величина. Ову дефиницију дао је Г. Перовић 1986 године [2].

Геодетски радови у инжењерству при изградњи већих грађевинских објеката захтевају развијање посебне мреже, која се назива геодетска мрежа објекта. Ове мреже користе се при изради пројекта, преношењу објекта на терен и при контроли стабилности објекта у току експлоатације. Квалитетно извођење ових радова захтева геодетску мрежу са одговарајућим показатељима квалитета [1].

Код пројектовања и грађења мостова развијају се локалне микромреже. Код ових локалних микромрежа, тачке се најчешће материјализују као бетонски стубови са уграђеним уређајем за присилно центрисање инструмента и сигнала, тако да се грешка центрисања инструмента и сигнала своди на занемарљиву величину. За мерење углова и дужине користе се тоталне станице са стандардом мерења праваца 1" и дужине 1+1 ppm [mm], тако да су грешке инструмента такође сведене на најмању вредност [3].

3. МАТЕМАТИЧКИ МОДЕЛ ИЗРАВНАЊА

Обрада података у геодетским мрежама подразумева различите фазе. Улазни подаци у овом процесу су мерене физичке величине и њихове тачности. Излазни подаци су изравната геодетска мрежа и подаци о њиховој тачности, поузданости, прецизности и осетљивости, као показатељи квалитета.

3.1. Функционални модел посредног изравнања

У функционалном моделу посредног изравнања, успоставља се функционална веза између мерених

величина и непознатих параметара. У случају да су функције нелинеарне, линеаризују се развијањем у Тејлоров ред. [4].

3.2. Метода најмањих квадрата

Метода најмањих квадрата састоји се у минимизације суме квадрата одступања од очекиване вредности у некој погодной изабраној метрици. Примењује се када су мерене величине стохастички независне [4, 1].

$$v^T \cdot P_1 \cdot v = \min \quad (1)$$

где је:

v – вектор поправака мерених величина,

P_1 – матрица тежина мерених величина.

3.3. Тачност мерених величина у геодетској мрежи

A posteriori стандардна девијација јединице тежине s_o или експериментална стандардна девијација јединице тежине, даје оцену тачности мерених величина l и одређује се после изравнања геодетске мреже [4].

$$s_o = \sqrt{\frac{v^T Q_1^{-1} v}{\text{trag} Q_1^{-1} Q_v}} \quad (2)$$

3.4. Тачност непознатих параметра

Експерименталне стандардне девијације непознатих параметара s_{x_i} дају информације о оцени тачности добијених вредности непознатих параметара из изравнања \hat{x} , а одређује се на следећи начин [4]:

$$s_{x_i} = s_o \cdot \sqrt{Q_{x_i x_i}} \quad (i = 1, 2, \dots, u) \quad (3)$$

3.5. Елипса грешака

Стандардне или апсолутне елипсе грешака дају информације о тачности положаја тачака. Релативне елипсе грешака дају информације о међусобној тачности положаја две тачке у геодетској 2-D мрежи. Параметри елипсе грешака су велика полуоса, мала полуоса и оријентација елипсе. Из модела посредног изравнања одређују се параметри елипсе грешака помоћу субматрице матрице кофактора $Q_{\hat{x}}$ [4].

3.6. Идентификација грубих грешака

У поступку идентификације грубих грешака обично се примењује „Data snooping“ тест. Базира се на тестирању статистичких хипотеза са одговарајућом вероватноћом да установи [4]:

- да стохастички модел одговара реалном моделу;
- да функционални модел даје захтевану везу између опажања и непознатих параметра;
- да у опажањима нема грубих грешака.

Процес идентификације евентуалних грубих грешака састоји се од глобалних и локалних статистичких тестова [4].

4. РЕАЛИЗАЦИЈА СЛИЧНИХ ПРИМЕРА У СВЕТУ

4.1. Мост *Akashi - kaikyo*

Мост *Akashi – kaikyo* је viseћи мост, који се шири преко Акаши теснаца и повезује главно острво Хоншу са острвом Аваји. Укупна дужина моста је 3911

метара и састоји од три распона, централни распон је дугачак 1991 метара, а сваки од два бочна распона премошћавају 960 метара [5].

За потребе изградње овог моста успостављена је трилатерациона мрежа мерењем дужина са електронском даљиномером [5].

Током изградње, на дну мора, коришћен је *multi beam echo sonar* за проверу равности ископаног дна. Резултати мерења су добијени у реалном времену. За мерење је коришћена антена фреквенције од 500kHz са резолуцијом од 5cm [5].

Висина сваког торња је 297,3 метара и подигнута је слагањем 30 монтажних челичних сегмената. Приликом монтаже сегмената положајна тачност одржана је унутар 1 mm и на крају на врху куле, тачност координата је била контролисана да буде унутар 28.3mm. Вертикалност торња је праћена електричним даљиномером. Дозвољени нагиб торња је износио 59 mm [5].

Висећи мостови великог распона су истовремено врло флексибилни и осетљиви на различите врсте оптерећења, посебно на динамичко оптерећење, попут земљотреса и ветрова. Континуирано праћење ових објеката је неопходно како би се обезбедила безбедност саобраћаја и њихова структурална исправност. На *Akashi – kaikyo* мосту, усвојен је један обиман систем праћења да би испунило ове захтеве [6].

4.2. Мост *Rio - Antirio*

Мост *Rio - antirio* је viseћи мост, који се шири преко Коринтског залива и повезује град Рио на Пелопонеском полуострву са градом Антирио у централној Грчкој. Укупна дужина моста је 2252 метара и састоји се од пет распона и четири пилона. Палуба је изграђена од 12 метара дугих композитних челичних и бетонских сегмената. Сегменти се подижу плутајућом дизалицом, палуба се шири помоћу конзолне технике [7].

Током изградње извођена су три различита типа операција подешавања: брзо позиционирање новог сегмента, подешавање новог сегмента, подешавање каблова [7].

Код брзог позиционирања новог сегмента у односу на постојећи конзолни сегмент, одлучено је да се не користе геодетски инструменти, већ ласерски уређај и маркери. Ласерски уређај и први маркер су постављени на последњем постојећем сегменту. Помоћу првог маркера дефинише се линија ласерског зрака који се односи за овај сегмент. Постављање новог сегмента врши се позиционирањем ласерске тачке на другом маркеру који се налази на новом сегменту [7].

Подешавање новог сегмента врши се у односу на претходна два сегмента коришћењем роботизоване тоталне станице високе тачности у некомпензованом режиму рада. Позиције тачака распоређених на последњем три сегменту су мерене у локалном координатном систему [7].

Код подешавања каблова потребно је одредити затегнутост каблова, вредност помака палубе и пилона, температуру каблова и структуре. Вредност помака палубе одређује се мерењем надморске висине

тачака у глобалном координатном систему са роботизованом тоталном станицом. Помак пилона одређује се помоћу жичаним и ласерским виском [7].

5. ПРОЈЕКАТ ГЕОДЕТСКОГ ОБЕЛЕЖАВАЊА

У току изградње објекта геодетски стручњак треба да обезбеди да се геометрија пројектованог објекта обележи на терену у границама задатих толеранција грађења и монтаже објекта. За те потребе неопходно је да се на основу пројектног задатка да се изврше следећи геодетски радови [1]:

- израда пројеката геодетског обележавања;
- реализација пројеката геодетског обележавања;
- израда елабората о реализацији обележавања

5.1. Основни подаци моста преко Саве у Остружници

Предмет пројеката геодетског обележавања је лева трака друмског мост преко Саве у Остружници. Мост је део аутопута Е70/Е75 и налази се на км 576+023.17. Објекат обухвата део од осе прелазног стуба „S1“ на споју са прилазном конструкцијом леве обале до осе прелазног стуба „S6“ на споју са прилазном конструкцијом десне обале у укупној дужини од 586.0 метара [8].

Градња моста вршена је у две фазе. У *првој фази* градње моста урађено је комплетно фундарање доњег строја моста за обе траке аутопута и изграђена носећа конструкција моста за пола профила саобраћајнице, односно десна трака аутопута (Слика 1.).



Слика 1. Десна трака моста у Остружници.

Пројекат обележавања односи се на *другу фазу* градње моста у коме је обухваћена доградња круна обалних стубова „S1“ и „S6“, израда и монтажа нових лежишта и носеће конструкције моста за леву траку аутопута.

Распонска конструкција моста укупне дужине 583 метра подељена је на 56 монтажних поља максималне дужине 11.00m. У складу са динамиком реализације посла, поступак монтаже и контрола монтаже монтажних поља, која нису правоугаоног облика, реализована је у халама ПЦ Батајница, у оквиру предузећа Мостоградња, док се монтажа и контрола монтаже правоугаоних монтажних поља реализовала у Нишу [8].

5.2. Избор инструмента и методе за обележавање положаја (УХ)

Извршена је анализа утицаја грешака на тачност обележавања положаја и одређено је да тражену тачност од 10mm могу постићи поларном методом

обележавања. За обележавање монтажних сегмената конструкције прорачуном је добијено да се може користити инструмент са лабораторијским перформансима: стандард мерења правца 3" или бољи, стандард мерења дужина 3+2ppm [mm] или бољи [8].

5.3. Избор инструмента и методе за обележавање висине

Извршена је анализа утицаја грешака на тачност обележавања висине и одређено је да се тражена тачност од 2.5mm може се постићи методом геометријског нивелмана. Приликом избора инструмента мора се обезбедити да декларисана тачност мерења висинске разлике напред-назад на растојању од 1km буде боља од 2.01mm [8].

5.4. Контрола монтаже појединачних монтажних сегмената

Контрола монтаже појединих монтажних сегмената врши се са тачака микромреже у оквиру хале за контролу монтаже. Стабилизација тачака микромреже је реализована бетонским стубовима са плочом за присилно центрисање. Крајне тачке појединачних сегмената снимају се са тачака микромреже у једном гирусу, да би се дефинисала њихова геометрија [8].

5.5. Контрола монтаже појединачних монтажних поља

Поступак геодетског обележавања и контрола монтаже појединачних монтажних поља извршена је са тачака оперативног полигона где тачке мреже имају плочу за присилно центрисање. Срачунати су елементи за поларно геодетско обележавање тачака на доњем појасу и орто плочи и односе се на локални координатни систем који дефинишу тачке оперативног полигона. Висина карактеристичних тачака монтажних поља дефинисане су такође у истом локалном координатном систему радилишта [8].

5.6. Анализа утицаја грешака на тачност обележавања

Ако се са тачке микромреже TS01L поларном методом обележе карактеристичне тачке монтажних елемената нпр. тачку UDP1 за оријентацију може се узети тачка TS16L и за контролну тачку TS02L. У складу са тим, табела са подацима за обележавање изгледа овако:

Табела 1. Подаци за обележавање тачке UDP1 поларном методом.

Бр. тачке	Y [m]	X [m]	α_i			d_i [m]
			°	'	"	
TS01L	7446285.144	4955707.963				
TS16L	7446189.978	4955804.129	0	0	0	135.294
TS02L	7446353.369	4955634.765	181	42	52.1	100.063
UDP1	7446278.330	4955699.437	263	19	56.9	10.914

Дозвољено одступање изведеног положаја тачака од пројектованог износи:

$$\Delta = 20 \text{ mm}$$

Тачност обележавања положаја тачака монтажних сегмената, која се треба постићи, добије се из дозвољеног одступања и она износи:

$$\sigma_{pol} = \frac{\Delta}{2} = 10mm$$

Зна се да је:

$\sigma_{DV} = 2mm$ – стандардно одступање координата датих величина, добије се из изравнања мреже;

$\sigma_{FIX} = 2mm$ – стандардно одступање фиксирања положаја тачке.

Стандардно одступање обележавања елемената поларне методе (угла и дужине) добија се применом принципа једнаких утицаја тј. да компонента грешке угла и дужине подједнако утичу на укупну грешку обележавања тачке.

Грешка центрисања се добија из укупне грешке угла.

Укупно је пројектом предвиђено обележавање 424 тачака, овде се приказују подаци само за једну тачку која се налази на узводној страни конструкције на првом монтажном елементу, где σ_a представља грешку мереног угла, σ_d је грешка мерене дужине, σ_{CI} је грешка центрисања инструмента и σ_{CS} је грешка центрисања сигнала (Табела 2.).

Табела 2. Тачност обележавања тачке UDPI поларном методом са станице TS01L.

Бр. Тачке	σ_a ["]	σ_d [mm]	σ_{CI} [mm]	σ_{CS} [mm]
UDPI	128.2	6.8	5.5	5.5

6. ПРОЈЕКАТ ИЗВЕДЕНОГ СТАЊА

Снимање изведеног стања објекта потребно је да би се геодетским мерењима добили подаци о геометрији изграђеног објекта и околног тла који служе: за технички пријем објекта и добијање употребне дозволе; за формирање пројекта изведеног стања објекта; за формирање интегралног информационог система објекта, и самим тим за успешну и безбедну експлоатацију објекта [1].

За успешно прикупљање неопходних података о изграђеном објекту потребно је на основу пројектног задатка израдити пројекат геодетског снимања изведеног стања објекта, извршити реализацију пројекта и формирање елабората о реализацији пројекта изведеног стања [1].

6.1. Препорука методе снимања за израду пројекта изведеног стања

За снимање изведеног стања моста преко Саве у Остружници предлаже се примена технологије терестичког ласерског скенирања нпр. инструментом „ScanStation P40“ који један терестички ласерски скенер од произвођача „Leica“. У спецификацији инструмента стоји податак о 3D тачности од 3mm на растојању од 50m и 6mm на растојању од 100m.

Мерења ласерским скенером захтеваће геореференцирање приликом којег користе се референтне тачке за постизање захтеване тачности. Позиције референтних тачака потребно је одредити тоталном станицом са тачака оперативног полигона. За обраду података предлаже се софтвер

„Microstation“ или „Autocad“ или програм произвођача ласерског скенера.

7. ЗАКЉУЧАК

Пројектом геодетског обележавања се дефинише рад који треба да одреди инструмент, начин обележавања и параметре за обележавање и њихове тачности.

У овом раду описани су поступци геодетског обележавања монтажних поља конструкције и дефинисан је поступак аквизиције података за потребе израде пројекта изведеног стања.

8. ЛИТЕРАТУРА

- [1] S. Ašanin, Inženjerska geodezija 1, Beograd: Ageo d.o.o., 2003.
- [2] Z. Sušić, Projektovanje geodetskih mreža u inženjerskim radovima (materijali sa predavanja), Novi Sad, 2016/17.
- [3] Toša Ninkov; Zoran Sušić, Primena inženjerske geodezije u različitim fazama projektovanja i realizacije inženjerskih projekata (Materijali sa predavanja), Novi Sad.
- [4] Krunislav Mihailović; Ivan R. Aleksić, Koncepti mreža u geodetskom premeru, Beograd: Geokarta, 2008.
- [5] T. Oshima, „Modern survey of large bridge and tunnel project for their construction control“.
- [6] Y. Fujino, M. Murata, S. Okano и M. Takeguchi, „Monitoring system of the Akashi Kaikyo Bridge and displacement measurement using GPS,“ у SPIE's 5th Annual International Symposium on Nondestructive Evaluation and Health Monitoring of Aging Infrastructure, Newport Beach, CA, United States, 2000.
- [7] M. Marchetti; R. Boudon; J. Monnerie; P. Bouve; D. Dupuis; F. Dadoun; G. Baechler; J.Olsfors, „Adjustment of the Rion-Antirion Cable-Stayed Bridge,“ FIG International Symposium on Engineering Surveys for Construction Works and Structural Engineering, 2004.
- [8] Toša Ninkov; Dragan Vidaković, „Projekat geodetskog obeležavanja Most preko Save u km.576+023.17 leve trake autoputa E70/E75,“ GeoGIS Konsultanti, Beograd, 2017.

Кратка биографија:



Абел Леваи рођен је 1995 године у Сенти. Дипломски рад на тему „Анализа померања микронивелманских мрежа применом Пелцерове и Карлсруе методе“ на Факултету техничких наука у Новом Саду одбранио је 2019. године