



[1] 2013 1[1]

АГГ+ часопис за архитектуру, грађевинарство, геодезију и сродне научне области
ACEG+ Journal for Architecture, Civil Engineering, Geodesy and other related scientific fields

XXX-XXX

Стручни рад | Professional paper

UDK | UDC 656.1:624.21.014.2.059

DOI 10.7251/AGGPLUS1301316B

Рад примљен | Paper received 18/11/2013

Рад прихваћен | Paper accepted 02/12/2013

Бранко Божић

Универзитет у Београду, Грађевински факултет, Булевар краља Александра 73, Београд

Сања Туцикешаић

Архитектонско-грађевински факултет Универзитета у Бањалуци, Војводе Степе Степановића 77/3, Бањалука

ДЕФОРМАЦИОНА АНАЛИЗА
1Д МРЕЖЕ МАХОВЉАНСКЕ
ПЕТЉЕ

DEFORMATION ANALYSIS
OF 1D NETWORK
MAHOVLJANSKA PETLJA

Стручни рад
Professional paper
Рад примљен | Paper accepted
02/12/2013
УДК | UDC
656.1:624.21.014.2.059
DOI
10.7251/AGGPLUS1301316B

Бранко Божић

Универзитет у Београду, Грађевински факултет, Булевар краља Александра 73, Београд

Сања Туцикешкић

Архитектонско-грађевински факултет Универзитета у Бањалуци, Војводе Степе Степановића 77/3, Бањалука

ДЕФОРМАЦИОНА АНАЛИЗА 1Д МРЕЖЕ МАХОВЉАНСКЕ ПЕТЉЕ

АПСТРАКТ

Деформациона мјерења су од великог значаја – на основу њих се у поступку обраде и анализе података мјерења одређују помаци и деформације грађевинских објеката током експлоатације те се добија информација да ли се грађевински објекти понашају у складу са очекивањима. Посљедице занемаривања потреба за праћењем деформација грађевинских објеката могу бити катастрофалне и мјере се људским животима и великим материјалним штетама. У раду се даје преглед реализованих нивелманских мјерења нулте и прве епохе 1Д мреже Маховљанске петље, те се у наставку подаци мјерења обрађују у вишенамјенском програмском пакету „PANDA“. Добијени подаци представљају важну информацију у процјени стања и сигурности Маховљанске петље, с циљем да се још у најранијој фази открију оштећења која би могла проузроковати отежано функционисање или чак уништење објекта.

Кључне ријечи: *Деформациона мјерења, деформације грађевинских објеката, 1Д мрежа Маховљанске петље, програмски пакет „PANDA“*

DEFORMATION ANALYSIS OF 1D NETWORK MAHOVLJANSKA PETLJA

ABSTRACT

Deformation measurements are of great significance and importance based on which in the processing and analysis of measurement data determined displacements and deformations of construction objects during the exploitation and obtained information on whether the construction objects comply with expectancy. The consequences of neglecting the need for monitoring deformation construction objects can be disastrous, and measured in human lives and great material damage. This paper gives an overview of realized leveling measurements for zero and first epoch 1D network Mahovljanska petlja, and in the continuation deformation measurement data are processed in the multi-purpose software package "PANDA". The obtained data are important information in the evaluation of the condition and safety Mahovljanska petlja, in order to even detect at the earliest stage damages that could cause dysfunction or even destruction of the object.

Key words: *Deformation measurements, deformations of construction objects, 1D network of Mahovljanska petlja, software package „PANDA“*

1. УВОД

Деформациона мјерења су од велике важности у многобројним активностима инжењерског премјера. Грађевински објекти подлијежу деформацијама под дејством разних сила као што су тектонски и сеизмолошки утицаји, промјене нивоа подземних вода, статичка и динамичка оптерећења објеката и др. Сваки грађевински објекат усљед поменутих фактора мијења облик, положај и трпи посљедице током времена. Деформације се дешавају постепено или одједном, тако да благовремено откривање деформација може спријечити многе нежељене посљедице.

Праћење и анализа деформација грађевинских објеката представља посебну грану геодетске науке. Квалитетна геодетска мјерења представљају неопходан услов за доношење поузданих закључака, а геодетски стручњак у процесу праћења деформација игра веома важну улогу. Геодетске технике, кроз мрежу тачака међусобно повезаних дају глобалне информације о понашању деформабилитета грађевинских објеката које се прате како из практичних тако и из научних разлога. У поређењу са другим типовима геодетских мјерења, деформациона мјерења имају сљедеће карактеристике: висока прецизност (до реда величина од 1 mm); поновљивост мјерења (од неколико секунди до неколико година); интеграција различитих типова опажања (геодетска, физичко-механичка са употребом клатана, тилтометара, ласера, хидростатичких нивелира и сл.); софистицираност анализа обраде прикупљених података и високи ниво интердисциплинарних знања.

У деформационој анализи посебно се истичу: апсолутне мреже (изван подручја деформација – референтне мреже), гдје је главни проблем потврђивање стабилности референтних тачака и идентификација помјерања појединачних тачака и релативне мреже (тачке се налазе на самој деформационој структури грађевинског објекта)[1]. У даљем раду се даје преглед реализованих нивелманских мјерења нулте и прве епохе 1Д мреже Маховљанске петље, те се у наставку подаци мјерења обрађују у вишенамјенском програмском пакету за обраду и анализу деформација „PANDA“. Добијени подаци представљају важну информацију у процјени стања и сигурности Маховљанске петље.

2. МОДЕЛИ КОЈИ СЕ ПРИМЈЕЊУЈУ У ДЕФОРМАЦИОНОЈ АНАЛИЗИ

Под моделовањем процеса деформација подразумијева се периодично или у одређеним временским интервалима осматрање карактеристичних тачака (тачке које најбоље репрезентују сам грађевински објекат) како би се пратило помјерање карактеристичних тачака и евентуално открили узроци тих помјерања. За конвенционалну анализу у простору и времену примјењују се двије класе модела: модели подударности (конгруенције) и кинематички модели. Модели који не разматрају само геометрију објекта у простору и времену већ испитују и укључују узрочне факторе (узрочне силе, унутрашње и спољашње напоне) припадају групи напредних модела деформационе анализе, и то су статички и динамички модели.

2.1. МОДЕЛИ ПОДУДАРНОСТИ (КОНГРУЕНЦИЈЕ)

Модел подударности или модели конгруенције јесу модели којима се тестира подударност (конгруентност) геометријских особина грађевинског објекта на више карактеристичних тачака у више временских епоха.

2.2. КИНЕМАТИЧКИ МОДЕЛИ

Модел који описује деформације на основу усвојене функције која зависи од времена, тј. узима се у обзир брзина и убрзање контролних тачака, називају се кинематички модели.

2.3. СТАТИЧКИ МОДЕЛИ

Статички модели описују функционалну зависност између напона и деформација објекта. Напоне узрокује оптерећење које дјелује на објекат и резултује деформацијом као реакцијом геометрије објекта. Статички модели се често примјењују уколико је потребно испитати количину оптерећења коју неки објекат може да поднесе.

2.4. ДИНАМИЧКИ МОДЕЛИ

Динамички модели су најопштнији и свеобухватнији модели који имају за циљ да опишу у потпуности природу динамичких система. Кретање и деформација објекта се сматра функцијом од оптерећења и времена. За разлику од статичких модела, објекат код динамичких модела је перманентно у покрету.

У табели 1 приказане су четири категорије деформационих модела, класификоване према њиховој могућности да узимају у обзир факторе времена и оптерећења.

Табела 1. Карактеризација и класификација деформационих модела (Welsh and Heunecke 1999)

Деформациони модел	Модел конгруенције	Кинематички модел	Статички модел	Динамички модел
Вријеме	Нема моделовања	Помјерање као функција времена	Нема моделовања	Помјерања као функција од времена и оптерећења
Дјелујуће силе	Нема моделовања	Нема моделовања	Деформација као функција оптерећења	
Стање објекта	Довољно дуго у стању равнотеже	Перманентно у покрету	Довољно дуго у стању равнотеже под оптерећењем	Перманентно у покрету

3. МОДЕЛ ПОДУДАРНОСТИ (КОНГРУЕНЦИЈЕ)

Улазне величине у моделу су геодетска мјерења (висинске разлике), док су излазне величине координате (висине) карактеристичних тачака у одређеним временским тренуцима.

3.1. ИЗРАВНАЊЕ ПОЈЕДИНИХ ЕПОХА

За одређивање координата тачака мреже, спроводи се одвојено изравнање за обје мјерне епохе ($i=0,1$) по методи посредног изравнања [3]. При том се усваја да мјерења нису корелисана. Функционални модел гласи:

$$l_i + V_i = A_i \cdot x_i, \quad i = 0,1 \quad (1)$$

док стохастички модел гласи:

$$E(V_i) = 0 \quad \text{ca} \quad Kl_i = \sigma^2 \quad Ql_i = \sigma^2 P^{-1}l_i, \quad i = 0,1 \quad (2)$$

гдје су: l_i – вектор опажања, V_i – вектор поправака, A_i – матрица коефицијената једначина поправака, x_i – вектор непознатих координата, Ql_i – матрица коефицијената тежина мјерења, $i = 0,1$ – епохе мјерења (нулта и прва епоха), σ^2 – а priori дисперзиони фактор.

За поједине епохе добијају се нормалне једначине:

$$N_i \cdot x_i = n_i \quad \text{ca} \quad N = A_i^T Ql_i A_i, \quad n_i = A_i^T Ql_i l_i, \quad i = 0,1 \quad (3)$$

Инверзија сингуларне матрице добија се кориштењем услова:

$$\text{trag}Q = \min \quad (4)$$

док се псеудоинверзија рачуна:

$$Q = (N + GG^T)^{-1} - GG^T \quad (5)$$

гдје је: G – матрица нормираних (једначина) вектора сопствених вриједности матрице N . Матрица Q је једнака N^+ .

Оцјене непознатих параметара се добијају као:

$$x_i = Q_i \cdot n_i \quad (6)$$

Оцјене поправака се добијају као:

$$V_i = A_i \cdot x_i - l_i \quad (7)$$

Оцјена $\hat{\sigma}_i$ (а постериори оцјена) стандардног одступања σ :

$$\hat{\sigma}_i = \sqrt{\frac{V_i^T P_i V_i}{f_i}} \quad (8)$$

гдје је: f_i – број сувишних мјерења ($f_i = n_i - u_i + d_i$), n_i – број опажања, u_i – број непознатих, d_i – дефект ранга матрице N_i .

3.2. ТЕСТИРАЊЕ ХОМОГЕНОСТИ МЈЕРЕЊА НУЛТЕ И ПРВЕ ЕПОХЕ

Услови за упоређење двије епохе су следећи: Оцјене фактора дисперзија двије епохе морају бити сагласне, обје епохе морају користити исти датум и обје епохе морају користити исте приближне координате [2]. Тј. треба да важи хипотеза:

$$H : M(\hat{\sigma}_0^2) = M(\hat{\sigma}_1^2) = \sigma^2 \quad (9)$$

Тест величина је:

$$F = \frac{\hat{\sigma}_0^2}{\hat{\sigma}_1^2} \sim F_{f_0, f_1} \quad \text{при} \quad \hat{\sigma}_0^2 > \hat{\sigma}_1^2 \quad (10)$$

$$F = \frac{\hat{\sigma}_1^2}{\hat{\sigma}_0^2} \sim F_{f_1, f_0} \quad \text{при} \quad \hat{\sigma}_1^2 > \hat{\sigma}_0^2 \quad (11)$$

Ако за тест величину гласи:

$$F < F_{1-\alpha, f_1, f_2} \quad (12)$$

онда прихватамо хипотезу о једнакости дисперзија у обје епохе. Даље се рачуна обједињена вриједност дисперзије као:

$$\hat{\sigma}^2 = \frac{f_0 \hat{\sigma}_0^2 + f_1 \hat{\sigma}_1^2}{f}, \quad f = f_0 + f_1 \quad (13)$$

3.3. ГЛОБАЛНИ ТЕСТ ПОДУДАРНОСТИ МРЕЖЕ

Тестирање подударности се односи на испитивање стабилности тачака у контролној мрежи. Тачка је стабилна уколико се њен положај није значајно промијенио између двије епохе. Координате тачака се између епоха морају подударати до вриједности грешке мјерења и дозвољених помјерања [2]. Подударност тачака у мрежи се тестира постављањем нулте и алтернативне хипотезе и примјеном одговарајуће тест статистике:

$$\begin{aligned} H_0 : E(\Delta) &= 0 \\ H_a : E(\Delta) &\neq 0 \end{aligned} \quad (14)$$

Тест статистика је облика:

$$T = \frac{q_{\Delta}/f_{\Delta}}{q/f} \rightarrow F(f_{\Delta}, f) \quad (15)$$

гдје је:

$$q_{\Delta} = \Delta^T Q_{\Delta}^{-} \Delta, \quad f_{\Delta} = \text{rank} Q_{\Delta}^{-} = n - d \quad (16)$$

(Δ – вектор помјерања тачака тј. разлика дефинитивних висина тачака из двије епохе и његова одговарајућа матрица $Q_{\Delta} = Q_{x_0} + Q_{x_1}$, n – број заједничких тачака које дефинишу датум, d – дефект датума)

$$q = (V^T P V)_0 + (V^T P V)_1, \quad f = f_0 + f_1 \quad (17)$$

С вјероватноћом $1 - \alpha = 95\%$ прихвата се нулта хипотеза, у противном се одбацује и са одговарајућом сигурношћу можемо говорити о постојању деформација у мрежи тј. мреже нису конгруентне (подударне). Из тог разлога се врши даља анализа којом ће се утврдити које су тачке помјерене. Овај тест којим се испитује конгруенција мрежа назива се глобални тест подударности мреже. Глобални тест открива постојање значајних помјерања координата идентичних тачака. Уколико постоје, сљедећим кораком врши се локализација тачака за које се с правом може претпоставити да су узрочник значајних разлика.

3.4. СУКЦЕСИВНА ДЕКОМПОЗИЦИЈА КВАДРАТНЕ ФОРМЕ

Декомпозиција квадратне форме q_{Δ} врши се за сваку тачку мреже. Сваки пут се врши преслагање матрице $Q_{\Delta} = Q_{x_0} + Q_{x_1}$ тако да се издвоји субматрица која се односи на условно непомјерене тачке, док се x_1 колона и врста која се односи на потенцијално помјерену тачку стављају на посљедње мјесто. Исто важи и за вектор $\Delta = x_0 - x_1$, односно врши се његово преслагање тако да се онај дио вектора који се односи на потенцијално помјерену тачку налази на посљедњем мјесту. Вектор разлика Δ дијели се на два субвектора

$$\Delta = \begin{bmatrix} \Delta_n \\ \Delta_p \end{bmatrix}, \quad Q_{\Delta}^{-} = P_{\Delta} = \begin{bmatrix} P_{nn} & P_{np} \\ P_{pn} & P_{pp} \end{bmatrix} \quad (18)$$

гдје Δ_p садржи разлику координата одабране тачке P , Δ_n садржи разлике осталих, условно стабилних тачака.

Трансформација гласи:

$$\bar{\Delta} = \begin{bmatrix} I & 0 \\ P_{pp}^{-1} P_{pn} & I \end{bmatrix} \cdot \Delta = \begin{bmatrix} \Delta_n \\ \bar{\Delta}_p \end{bmatrix} \quad (19)$$

Затим слиједи рачунање квадратних форми:

$$q_{\Delta}^n = \Delta_n^T Q_{nn}^{-1} \Delta_n \quad (20)$$

$$q_{\Delta}^p = \Delta_p^T P_{pp} \Delta_p \quad (21)$$

$$q_{\Delta} = q_{\Delta}^n + q_{\Delta}^p \quad (22)$$

Даље, за сваку тачку се рачуна тест статистика на основу израза:

$$T = \frac{q_{\Delta}^p}{\sigma_0^2} \sim F(1, \infty) \quad (23)$$

Ако има више тачака чија тест статистика није у границама дозвољених вриједности, у овој итерацији се само тачка која највише одступа сматра нестабилном и помјереном. За ту тачку се даље одређује квадратна форма редукованог блока тачака:

$$q_{\Delta}' = q_{\Delta} + q_{\Delta}^p \quad (24)$$

Затим се поново примјењује тест подударности, али сада се тестира сагласност положаја тачака које припадају редукованом блоку:

$$T' = \frac{q_{\Delta}' / (f_{\Delta} - 1)}{q / f} \sim F(0.05; f_{\Delta} - 1; f) \quad (25)$$

4. СОФТВЕР "PANDA"

Вишенамјенски порограмски пакет „PANDA“ је софтверски пакет који уз изравнање мрежа и деформациону анализу, подржава још и: претпроцесирање оригиналних читања, преанализу и оптимизацију мрежа, подешавање квалитета анализе и откривање грубих грешака, анализу деформација и графички приказ резултата. Пакет омогућује обраду великих скупова података, и има могућност обраде мјерења укључујући и GPS скупове података, тако да представља најновија достигнућа у теорији мреже и деформационој анализи. Програмак систем „PANDA“ има модуларну структуру. Сваки модул је реализован од стране независних програма. То значи да се модули могу мијењати, систем се може модификовати тако да одговара захтјевима корисника и сваки програм може да ради као самостални програм ван система.

Да би се реализовао задатак кроз програмак систем „PANDA“, морају се припремити улазне датотеке у зависности од врсте мјерења која се обрађују. Обично су то: правци, хоризонтални углови, вертикални углови, висинске разлике, дужине и дирекциони углови. За опажане координате или разлике координата коваријанса матрица се може увести, док се за остала опажанја сматра да су некорелисана. За сваку врсту опажанја груписање је могуће, и то у случају када се користе разни инструменти или су спољни

услови различити. За сваку групу а priori стандардна девијација мора да се уведе. Исто тако другачија стандардна девијација може бити додијељена појединачним мјерењима у циљу измјене тежине мјерења.

Систем је развијен за употребу на персоналним рачунарима с оперативним системом MS-DOS односно PC-DOS. Сви програми су написани у стандардном FORTRAN 77. Као и сваки софтвер, „PANDA“ није статични производ, он сазријева и побољшава се. Систем се стално ажурира.

5. ДЕФОРМАЦИОНА АНАЛИЗА 1Д МРЕЖЕ МАХОВЉАНСКЕ ПЕТЉЕ У ПРОГРАМСКОМ ПАКЕТУ „PANDA“

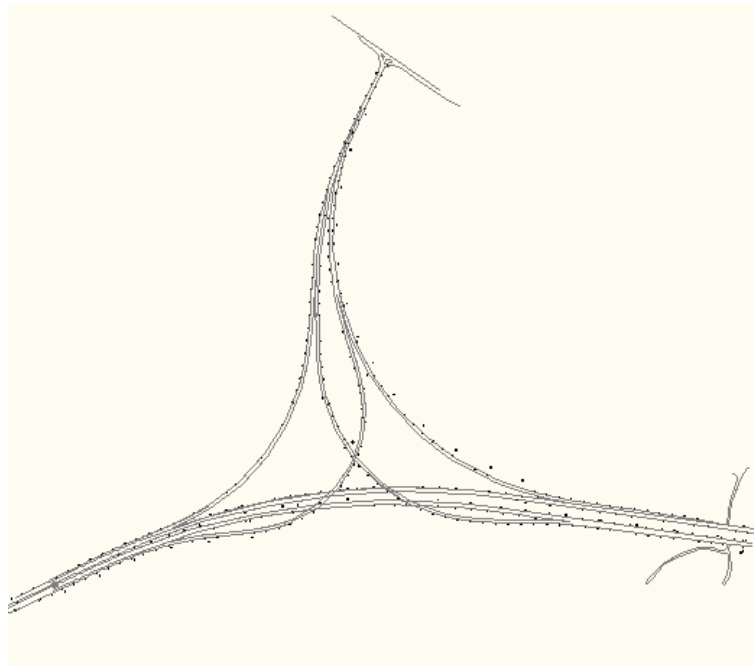
Маховљанска петља је један од значајнијих инфраструктурних пројеката у Републици Српској, слика 1. Петља је пројектована у облику троугла и састоји се од два лука. На локацији Маховљанске петље постављена је висинска геодетска основа (једнодимензионални модел – 1Д) за посебне намјене коју чини укупно 37 репера, од којих три репера чине основну висинску геодетску мрежу и ти репери су постављени изван зоне деформација на стабилном тлу (референтна мрежа). Остали репери (карактеристичне тачке које најбоље репрезентују објекат) су постављени по објектима тако да висинска мрежа има облик затворених полигона. Опажано је укупно 39 висинских разлика.

Пројектом је предвиђено да се висински прате мостови и надвожњаци, те су репери постављени са лијеве и десне стране саобраћајне инфраструктуре Маховљанске петље, слика2.

Детаљна разрада методе мјерења је урађена на основу дефинисане тачности 1Д координата тачака геодетске основе. Геодетска мјерења су вршена на основу плана мјерења који је израђен према задатој тачности и садржи: избор инструмента и прибора, дефинисање услова тачности и дефинисање података за праћење и контролу мјерења.



Слика 1. Маховљанска петља



Слика 2. Маховљанска петља с приказом свих стабилованих репера

За одређивање вертикалних деформација примијењена је метода прецизног нивелмана. Одређивање висина методом геометријског нивелмана спада у најпрецизнија геодетска мјерења. Нивелање у обје епохе је извршено дигиталним аутоматским нивелиром типа Leica DNA03, са инварским бар код летвама, слика 3 и слика 4 по методи нивелања из средине, по прописима за ову врсту нивелманских мјерења.



Слика 3. Дигитални нивелир Leica DNA03



Слика 4. Инварске бар код летве

Сва мјерења аутоматски су регистрована и меморисана у инструменту, при чему су директно на терену вршене следеће контроле: контрола константе летве; контрола висинских разлика и контрола затварања полигона. Формирана су укупно четири затворена полигона, табела 2:

Табела 2. Формирани полигони на локацији Маховљанске петље

Полигон 1	(R4-M4D-M4L-M1L1-M1D1-RS1-R4)
Полигон 2	(R4-M2L2-MP32-MP31-M2L1-M2D2-M2D1-RS2-K11-K12-K13-K14-K15-K16-K17-K18-K19-K110-K111-R4)
Полигон 3	(RS2-K11-K12-K13-K14-K15-K16-K17-K18-K19-K110-K111-R4-K213-K212-K211-K210-K29-K28-K27-K26-K25-K24-K23-K22-K21-RS1-RS2)
Полигон 4	(RS1-R4-K213-K212-K211-K210-K29-K28-K27-K26-K25-K24-K23-K22-K21-RS1)

Табела 3. Затварања полигона (w) с дозвољеним одступањима (Δ)

	Нулта епоха мјерења октобар 2012.		Прва епоха мјерења јул 2013.	
Полигон 1	w=0 mm	Δ = 2.5 mm	w=-0.1 mm	Δ = 2.2 mm
Полигон 2	w=2.87 mm	Δ = 3.4 mm	w= -2.1 mm	Δ = 2.6 mm
Полигон 3	w=0.95 mm	Δ = 3.9 mm	w=0.4 mm	Δ = 4.2 mm
Полигон 4	w=1.25 mm	Δ = 2.3 mm	w=1.2 mm	Δ = 2.5 mm

$$\Delta = 3mm \times \sqrt{D[km]} \tag{26}$$

Моделовање процеса деформација грађевинског објекта Маховљанске петље извршено је моделом подударности (конгруенције). Улазне величине у моделу су висинске разлике (нулте епохе и прве епохе), док су излазне величине висине карактеристичних тачака у двије временске епохе.

Табела 4. Специфични показатељи мреже (Нулта епоха)

Маховљанска петља – Нулта епоха	
Специфични показатељи мреже	
Број мјерења	39
Број висинских разлика	39
Број тачака у мрежи	37
Број датумских тачака	3
Дефект мреже	1
Укупно сувишних мјерења у изравнању	3
Стандардно одступање јединице тежине (а приори)	1.000
Стандардна девијација јединице тежине (а постериори)	1.273
Број итерација	1

Табела 5. Специфични показатељи мреже (Прва епоха)

Маховљанска петља – Прва епоха	
Специфични показатељи мреже	
Број мјерења	39
Број висинских разлика	39
Број тачака у мрежи	37
Број датумских тачака	3
Дефект мреже	1
Укупно сувишних мјерења у изравнању	3
Стандардно одступање јединице тежине (а приори)	1.000
Стандардна девијација јединице тежине (а постериори)	0.835
Број итерација	1

Табела 6. Вектор разлика оцијењених висина између нулте и прве епохе мјерења, односно вектор помјерања

Тачка	Тачка	Тачка
Разлике координата нулте и прве епохе (mm)	Разлике координата нулте и прве епохе (mm)	Разлике координата нулте и прве епохе (mm)
R4*	M4D	-1.69
K11	M4L	-1.74
K12	RS1*	0.60
K13	RS2*	0.59
K14	K110	-2.47
K15	K111	-3.84
K16	K210	-2.24
K17	K211	-1.92
K18	K212	-3.39
K19	K213	-1.74
K21	M1D1	-0.11
K22	M1L1	-0.07
K23	M2D1	-0.64
K24	M2D2	0.06
K25	M2L1	0.21
K26	M2L2	0.88
K27	MP31	0.12
K28	MP32	0.57
K29		

Табела 7. Резултати неподударности тачака које су оцијењене као стабилне

Редни број	Тачка	dz [mm]
3	K12	0.76
4	K13	-0.05
5	K14	0.32
7	K16	-1.14
9	K18	-1.07
12	K22	0.43
14	K24	-0.42
15	K25	0.12
17	K27	-0.61
19	K29	0.19
20	M4D	0.69
21	M4L	0.64
24	K110	-0.09
26	K210	0.14
27	K211	0.46
28	K212	-1.01
29	K213	0.64

Табела 8. Резултати неподударности тачака које су оцијењене као нестабилне према моћи теста

Редни број	Тачка	dz[mm]
2	K11	1.63
6	K15	-1.84
8	K17	-2.55
10	K19	-1.33
11	K21	1.38
13	K23	1.51
16	K26	-1.55
18	K28	-1.46
22	RS1	2.97
23	RS2	2.96
25	K111	-1.49
30	M1D1	2.26
31	M1L1	2.31
32	M2D1	1.74
33	M2D2	2.44
34	M2L1	2.58
35	M2L2	3.27
36	MP31	2.49
37	MP32	2.95

Табела 9. Резултати прецизности тачака оцијењених као стабилних

Редни број	Тачка	A[mm]	Sz[mm]
3	K12	2.46	1.00
4	K13	2.46	1.00
5	K14	2.48	1.01
7	K16	2.51	1.02
9	K18	2.58	1.05
12	K22	1.83	0.75
14	K24	1.77	0.72
15	K25	1.76	0.72
17	K27	1.75	0.72
19	K29	1.75	0.72
20	M4D	2.07	0.84
21	M4L	2.08	0.85
24	K110	2.64	1.08
26	K210	1.76	0.72
27	K211	1.79	0.73
28	K212	1.83	0.75
29	K213	1.84	0.75

Табела 10. Резултати прецизности тачака оцијењених као нестабилних

Редни број	Тачка	A[mm]	Sz[mm]
1	R4	1.58	0.64
2	K11	2.48	1.01
6	K15	2.50	1.02
8	K17	2.56	1.04
10	K19	2.61	1.07
11	K21	1.84	0.75
13	K23	1.80	0.74
16	K26	1.76	0.72
18	K28	1.76	0.72
22	RS1	1.83	0.75
23	RS2	2.48	1.01
25	K111	2.71	1.11
30	M1D1	2.08	0.85
31	M1L1	2.13	0.87
32	M2D1	2.42	0.99
33	M2D2	2.41	0.99
34	M2L1	2.32	0.95
35	M2L2	2.17	0.88
36	MP31	2.17	0.89
37	MP3	2.15	0.88

6. ЗАКЉУЧАК

Геодетске методе праћења помјерања објеката временом су постајале све мање атрактивне, на првом мјесту због захтјева за врло стручним кадром, што подразумијева веће трошкове. Насупрот томе, механички уређаји попут клатна и системи за алинирање нису тако сложени, увијек су били јефтинији и лакше доступни. Међутим, једино се геодетским методама добијају апсолутни подаци који не описују објекат само у релативном смислу већ и у односу на његово непосредно окружење, чиме доприносе објективном сагледавању понашања читавог комплекса.

На основу спроведне анализе деформационих мјерења остварен је један од циљева овог рада, а то је доказ да је конструкција саобраћајне инфраструктуре Маховљанске петље стабилна и да се грађевински објекат Маховљанске петље понаша у складу са пројектним задатком (максимална величина помјерања износи 3.27 mm – тачка M2L2). Добијени подаци представљају важну информацију у процјени стања и сигурности Маховљанске петље.

Понашање објекта Маховљанске петље би требало пратити континуално у времену, што ће омогућити предвиђање будућих стања са великим степеном повјерења.

Важно је истакнути да је у току мјерења била велика оптерећеност саобраћаја, која је узроковала значајна треперења компензатора, па су мјерења вршена уз отежане услове, уз дуже задржавање на станици, јер се приликом читавања морало чекати да се компензатор код мјерног инструмента стабилизује.

Данашњи брзи напредак технологије и науке утиче и на развој савремених геодетских технологија, а односи се како на мјерну опрему тако и на методе прикупљања, обраде и управљања подацима, чиме је омогућено повећање тачности и ефикасности геодетских мјерења као и доношење поузданих закључака о промјенама геометрије објеката. Примјена аутоматизованих система више није ријеткост и најчешће се користи у тектонски активним подручјима.

7. БИБЛИОГРАФИЈА

- [1] К. Михајловић, И. Алексић, *Деформациона анализа геодетских мрежа*. Београд: Универзитет у Београду, Грађевински факултет, 1994
- [2] С. Ашанин, *Инжењерска геодезија*. Београд: Универзитет у Београду, Грађевински факултет, 2003
- [3] Г. Перовић, *Метод најмањих квадрата*. Београд: Универзитет у Београду, Грађевински факултет, 2005