

70

Professional paper I Стручни рад
DOI 10.7251/STP2215709J
ISSN 2566-4484



Vladan Janković, University of Banja Luka, vladan.jankovic@student.aggf.unibl.org

Slavko Vasiljević, University of Banja Luka, slavko.vasiljevic@aggf.unibl.org

Branko Božić, University of Belgrade, bozic@grf.bg.ac.rs

GEODETIC CONTROL OF GEOMETRY OF ENGINEERING FACILITY DURING CONSTRUCTION – CASE STUDY RESIDENTIAL–BUSINESS FACILITY IN SRBAC

Abstract

The paper presents the procedure of geodetic control of the geometry of a residential-business building under construction, by testing the compliance of the position of the designed and constructed characteristic points of the building. It is described the manner of designing and establishing a geodetic network from which the marking and control of geometry was performed. Based on the obtained results, it was concluded that the derived geometry is agreed with designed one. In this way, it was once again confirmed that the establishment of a quality geodetic network, marking and the application of suitable models for testing linear hypotheses play an important role in the successful realization of the projected geometry of the object using geodetic methods.

Keywords: establishing a geodetic network, geodetic control of geometry

ГЕОДЕТСКА КОНТРОЛА ГЕОМЕТРИЈЕ ИНЖЕЊЕРСКОГ ОБЈЕКТА У ТОКУ ИЗГРАДЊЕ – СТУДИЈА СЛУЧАЈА СТАМБЕНО-ПОСЛОВНИ ОБЈЕКАТ У СРПЦУ

Сажетак

У раду је приказан поступак геодетске контроле геометрије стамбено-пословног објекта у изградњи, тестирањем сагласности положаја пројектованих и изведених карактеристичних тачака објекта. Описан је и поступак пројектовања и успостављања геодетске мреже са које је вршено обиљежавање и контрола геометрије. На основу добијених резултата закључено је да је изведена геометрија сагласна пројектованој. На овај начин је још једном потврђено да за успјешно остваривање пројектоване геометрије објекта примјеном геодетских метода важну улогу има успостављање квалитетне геодетске мреже, геодетско обиљежавање и примјена одговарајућих модела за тестирање линеарних хипотеза.

Кључне ријечи: успостављање геодетске мреже, геодетска контрола геометрије

1. УВОД

Један од основних задатака инжењерске геодезије приликом изградње објекта је остваривање пројектоване геометрије објекта на терену, у границама дозвољених одступања. Успјешно рјешавање овог задатка подразумијева геодеетско обиљежавање пројектованих елемената и контролу њихове геометрије у току или након процеса грађења. Обиљежавање и контрола геометрије спроводе се у односу на геодеетску основну мрежу. Она се у току контроле геометрије проширује тачкама на објекту и посматра као контролна мрежа инжењерског објекта.

Квалитет геодеетске мреже је дефинисан прецизношћу, поузданосћу, осјетљивошћу и цијеном реализације [1] [2] [3]. Проблематиком оптимизације геодеетских мрежа и дефинисањем поступака пројектовања геодеетски стручњаци се баве још од 1980-их година [4]. Проблеми пројектовања се могу ријешити коришћењем аналитичких или херуистичких метода [5]. Поступак пројектовања геодеетске мреже, примјеном метода оптимизације [6], се може спровести како је описано у [7] [8] [9].

Геодеетском контролом геометрије се изведена геометрија конструкције упоређује са пројектованом, а може се изводити у 1Д, 2Д или 3Д координатним системима [10]. Упоређивањем се могу провјеравати подударности пројектованих и реализованих геометријских елемената и фигура по положају, облику и величини и облику [11] [12] [13]. Тачност положаја обиљежене тачке условљена је тачношћу положаја тачака основне мреже са које се врши обиљежавање. Она мора бити занемарљива у односу на дозвољено одступање извођења радова. Тачност постојећих геодеетских мрежа често није адекватна за реализацију наведених геодеетских радова. Такође, ни распоред тачака постојећих мрежа није прилагођен потребама обиљежавања будућег објекта. Све претходно наведено доводи до потребе за пројектовањем и реализацијом геодеетске основне мреже која ће испунити поменуте захтјеве. У овом раду је приказано пројектно рјешење геодеетске основне 2Д мреже за потребе геодеетских радова у току изградње стамбено-пословног објекта, са посебним нагласком на најважније резултате добијене у току њене реализације. Кратко је приказана методологија обиљежавања геометрије објекта. Детаљно је описан поступак геодеетске контроле геометрије, односно утврђивања подударности пројектованих и изведених положаја карактеристичних тачака објекта формирањем и тестирањем одговарајућих линеарних хипотеза.

2. ПРОЈЕКАТ ГЕОДЕЕТСКЕ ОСНОВНЕ 2Д МРЕЖЕ

Тачност геодеетске основне 2Д мреже примарно је условљена дозвољеним одступањем извођења радова, а геометрија (распоред тачака и план опажања) обликом и димензијама објекта, карактеристикама терена, организацијом градилишта и технологијом извођења радова [9]. У геодеетској пракси на овим просторима најважнији елементи пројекта геодеетске мреже се приказују у форми техничког извјештаја.

2.1. ОСНОВНИ ПОДАЦИ О ИНЖЕЊЕРСКОМ ОБЈЕКТУ И КОНСТРУКЦИЈИ

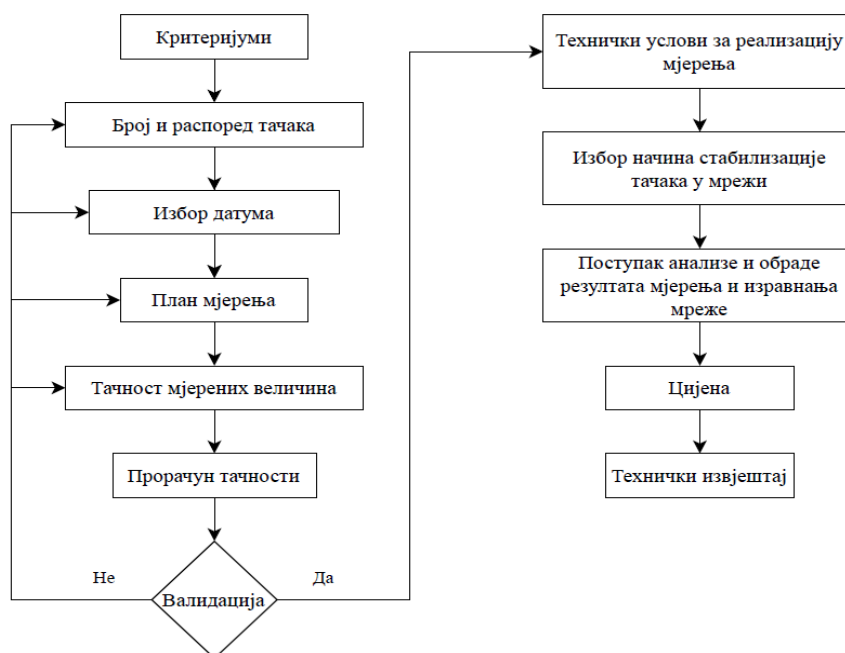
У центру општине Србац предвиђена је изградња стамбено-пословног објекта (слика 1). Пројекат конструкције је израђен према ЈУС и РВАВ-87 правилницима и стандардима за грађевинске конструкције. Објекат је у основи неправилног облика габаритних димензија приземља 30.46 m x 14.20 m и спратова 33.39 m x 14.70 m. Спратност објекта је П + 4, са укупном висином 15.20 m. Вертикална конструкција објекта је пројектована као комбинација армиранобетонских стубова и платана (зидова). Међуспратне конструкције су монолитне армиранобетонске плоче дебљине $d = 15$ cm у систему са АБ гредама у оба правца, различитих димензија у зависности од распона и нивоа оптерећења. Пројектом дефинисано дозвољено одступање извођења радова је 2 cm. Ова величина представља улазни податак за пројектовање геодеетске основне 2Д мреже.



Слика 1. Позиција и 3Д модел објекта

2.2. ПРОЈЕКТНО РЈЕШЕЊЕ ГЕОДЕТСКЕ ОСНОВНЕ 2Д МРЕЖЕ

Да би се извршило успјешно пројектовање основне 2Д мреже неопходно је пратити алгоритам пројектовања приказан на слици 2.



Слика 2. Алгоритам пројектовања 2Д мреже [1] [9]

На основу дозвољеног одступања примјеном принципа занемарљивости, изведена је положајна тачност карактеристичних тачака објекта које се обиљежавају, у износу 3.3 mm, док положајна тачност тачака основне мреже треба бити већа или једнака 1.1 mm.

Остали критеријуми који морају бити испуњени приликом пројектовања геодетске основне 2Д мреже су следећи:

- Однос велике и мале полуосе стандардних елипси грешака не смије бити већи од 2:1;
- Локална мјера унутрашње поузданости треба бити већа од 0.3; и
- Маргинална груба грешка која се тестом присуства грубих грешака може открити треба бити мања од $7\sigma_i$ [9].

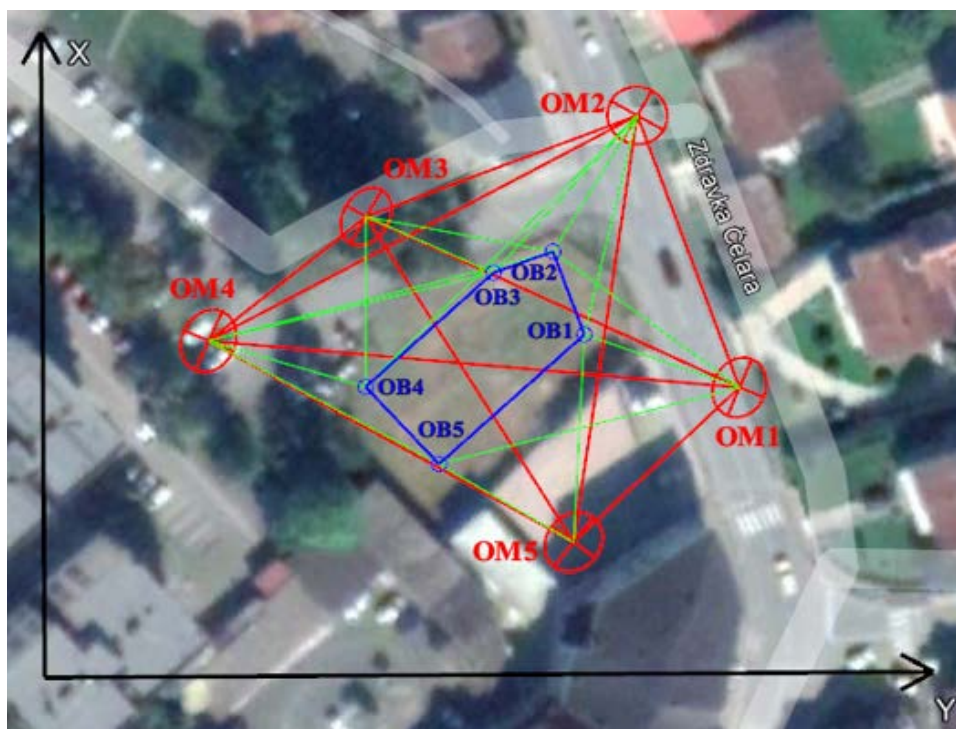
Приликом планирања распореда тачака у мрежи треба водити рачуна о следећим захтјевима:

- Свака тачка мреже треба да се догледа са минимум двије сусједне тачке мреже;

- За сваку тачку објекта мора да се омогући обиљежавање са минимум двије тачке мреже;
- Тачке основне мреже постављају се на стабилном терену;
- Тачке основне мреже морају увијек бити доступне и мора се обезбједити да не буду уништене током изградње објекта за шта је неопходно познавати организацију градилишта;
- Високо тачно обиљежавање тачке изводи се са минимум три тачке основне мреже [9].

Код високих објеката треба водити рачуна да су тачке мреже удаљене од објекта минимално за вриједност висине објекта, а по могућности и више.

Поштујући претходно наведене захтјеве одређено је да број тачака основне мреже буде 5. Координатни систем основне 2Д мреже је локални координатни систем, а датум мреже је одређен приближним координатама свих тачака (минимални траг) [14].



Слика 3. Распоред тачака основне 2Д мреже

Планом мјерења предвиђено је мјерење праваца и дужина, а укупан број мјерења износи 30. Тачност мјерења дефинисана је на основу познатог стандардног одступања положаја тачака основне мреже. У зависности од дужине визуре, стандардно одступање мјерења праваца је у интервалу од 5" до 9", а стандардно одступање мјерења дужина износи 2.2 mm.

Након избора положаја тачака и плана мерења дефинисани су елементи функционалног модела на основу чега је извршен прорачун тачности и одређене мјере прецизности и поузданости [14].

Вриједности добијене прорачуном су приказане у Табели 1 и 2.

Табела 1. Критеријуми прецизности

Критеријум прецизности	Минимум	Максимум
Стандардно одступање по у-оси [mm]	0.6	0.7
Стандардно одступање по х-оси [mm]	0.5	0.7
Стандардно одступање по положају [mm]	0.9	1.0
Однос велике и мале полуосе елипсе грешака	1.04	1.34

Табела 2. Критеријуми поузданости

Критеријум поузданости	Правци	Дужине
Локална мјера унутрашње поузданости	0.4 - 0.6	0.7 - 0.8
Маргинална груба грешка	21.7 - 38.3	6.9 - 7.3

Након прорачуна тачности, поређењем задатих критеријума са вриједностима добијеним из прорачуна тачности изведена је валидација пројекта. Валидацијом је утврђено да су све вриједности у дозвољеним границама на основу чега је пројекат основне 2Д мреже усвојен, те је приступљено дефинисању техничких услова за реализацију мјерења.

За мјерења у мрежи неопходан је инструмент са стандардном мјерења праваца $\sigma_r \leq 5''$ и стандардом мјерења дужина од $\sigma_D = 2 \text{ mm} + 2 \text{ ppm}$. Правци се мјере гирусном методом у два гируса, а дужине обострано. Пројектом је предвиђен начин стабилизација тачака и дефинисани су параметри за праћење и контролу мјерења праваца и дужина. Изравнање резултата мјерења и оцјена координата тачака основне 2Д мреже извршени су методом најмањих квадрата.

3. ГЕОДЕТСКО ОБИЉЕЖАВАЊЕ И КОНТРОЛА ГЕОМЕТРИЈЕ ОБЈЕКТА

Обиљежавање тачака на терену може се обавити неком од следећих метода: поларном методом, ортогоналном методом, лучним пресјеком, пресијецањем праваца напријед, директним пресјеком праваца, методом слободног позиционирања или ГНСС методом [15]. Обиљежавање карактеристичних тачака објекта извршено је полораном методом у једном положају дурбина (обиљежавање обичном тачношћу) у складу са условима дефинисаним у пројекту обиљежавања.

Током изградње објекта вршена је контрола геометрије по положају за 5 карактеристичних тачака објекта, по свакој етажи.

Приликом тестирања по положају, тест хипотезе гласе:

- H_0 : Координате тачака на терену које дискретизују објекат су сагласне пројектованим;
- H_a : Координате тачака на терену које дискретизују објекат нису сагласне пројектованим.

Нулта и алтернативна хипотеза се могу записати у следећем облику:

$$H_0: M(d) = 0 \quad (1)$$

$$H_a: M(d) \neq 0 \quad (2)$$

гдје је d – вектор разлика оцијењених и пројектованих координата, облика:

$$d = \begin{bmatrix} \hat{Y}_1 - Y_{1\text{proj}} \\ \hat{X}_1 - X_{1\text{proj}} \\ \vdots \\ \hat{Y}_5 - Y_{5\text{proj}} \\ \hat{X}_5 - X_{5\text{proj}} \end{bmatrix} \quad (3)$$

Сваки члан вектора d представља једну функционалну једначину којом се успоставља однос између оцијењених и пројектованих координата, облика:

$$f_1 = \hat{Y}_1 - Y_{1\text{proj}} \quad (4)$$

Матрица H садржи изводе функционалних једначина по непознатим параметрима, облика:

$$H = \begin{bmatrix} \frac{\partial f_1}{\partial \hat{Y}_1} & \frac{\partial f_1}{\partial \hat{X}_1} & \dots & \frac{\partial f_1}{\partial \hat{Y}_5} & \frac{\partial f_1}{\partial \hat{X}_5} \\ \vdots & \vdots & \dots & \vdots & \vdots \\ \frac{\partial f_{10}}{\partial \hat{Y}_1} & \frac{\partial f_{10}}{\partial \hat{X}_1} & \dots & \frac{\partial f_{10}}{\partial \hat{Y}_5} & \frac{\partial f_{10}}{\partial \hat{X}_5} \end{bmatrix} \quad (5)$$

Припадајућа кофакторска матрица се рачуна према следећем изразу:

$$Q_d = H Q_{\hat{x}} H^T \quad (6)$$

гдје је $Q_{\hat{x}}$ – кофакторска матрица оцјена непознатих параметара (из изравнања контролне мреже).

Тестирање нулте хипотезе изведено је коришћењем тест статистике, облика:

$$T = \frac{d^T Q_d^{-1} d}{k \cdot \sigma_0^2} \sim F_{1-\frac{\alpha}{2}, k, \infty} \quad (7)$$

гдје је:

k – ранг матрице H ,

σ_0 – а приори фактор варијансе,

F – квантил Фишерове расподеле за дати ниво значајности и број степени слободe.

4. ПОСТИГНУТИ РЕЗУЛТАТИ

4.1. ИЗРАВНАЊЕ ОСНОВНЕ 2Д МРЕЖЕ

У току реализације мреже поштујући критеријуме за праћење и контролу мјерења остварена је тачност мјерења праваца и дужина предвиђена пројектом.

У мрежи је извршено 30 мјерења, од чега 20 праваца и 10 дужина. Правци су мјерени са свих 5 тачака основне мреже. За σ а приори је усвојена вриједност 1, док оцијењена вриједност износи 1.24. Глобални тест адекватности модела није показао присуство грубих грешака. Вриједност теста нулте хипотезе износи 1.53, док је дозвољена вриједност 1.60.

Табела 2. Оцијењена стандардна одступања тачака основне мреже

Тачка	σ_y [mm]	σ_x [mm]	σ_p [mm]
ОМ1	0.5	0.5	0.8
ОМ2	0.5	0.6	0.8
ОМ3	0.6	0.4	0.7
ОМ4	0.7	0.5	0.8
ОМ5	0.5	0.6	0.8

4.2. КОНТРОЛА ГЕОМЕТРИЈЕ

Контрола сагласности изведеног објекта са пројектованим реализована је ослањајући се на 5 тачака основне 2Д мреже и обухватила је 5 тачака на објекту. Датум је дефинисан тачкама основне мреже. Извршено је 43 мјерења, од чега 28 праваца и 15 дужина. Геодетска контрола геометрије проведена је независно за сваку етажу, а приказана је за прву и последњу.

Табела 3. Разлике оцијењених и пројектованих координата

Координата тачке	Прва етажа [mm]	Последња етажа [mm]
YOB1	1.5	0.1
XOB1	-0.5	-0.2
YOB2	-0.2	1.1
XOB2	-0.3	-0.3
YOB3	-0.6	2.0
XOB3	-0.3	0.2
YOB4	0.4	0.9
XOB4	-0.6	-0.7
YOB5	-2.5	1.2
XOB5	1.2	-0.8

Добијене вриједности тест статистике приликом тестирања постављених хипотеза за прву и последњу етажу износе 1.97 и 1.70, док је дозвољена вриједност 2.05. Упоредјујући оцијењене положаје тачака објекта са њиховим пројектованим положајима, тестирањем је констатована њихова потпуна сагласност.

5. ЗАКЉУЧАК

Приликом пројектовања геодетских мрежа морају се испунити задати критеријуми који се односе на прецизност и поузданост. Такође, треба водити рачуна и о економичности како не би дошло до непотребног поскупљења радова. Према томе, геодета мора пронаћи оптимално, односно најбоље пројектно рјешење мреже за потребе изградње будућег објекта.

У пројектовању основне мреже за обиљежавање и контролу геометрије објекта прецизно су дефинисани кораци у испуњавању улазних критеријума. Валидацијом пројектног рјешења потврђено је да су сви резултати у дозвољеним границама.

Контрола геометрије је показала сагласност изведене и пројектоване геометрије објекта, односно, разлике координата нису значајне, те је закључено да је пројектована геометрија објекта пренијета на терен у дозвољеним границама.

This article was prepared under the Erasmus+ project "Business driven problem-based learning for academic excellence in geoinformatics - GEOBIZ". The project has been funded with support from the European Commission. This publication reflects the views only of the authors, and the Commission cannot be held responsible for any use which may be made of the information contained therein.

ЛИТЕРАТУРА:

- [1] Б. Миловановић, С. Васиљевић, П. Вранић, „Пројектовање и реализација контролне мреже телекомуникационог торња Авала“, *Техника*, 74(6), стр. 703-708, 2020.
- [2] A. R. Amiri-Simkooei, "Comparison of reliability and geometrical strength criteria in geodetic networks", In *Journal of Geodesy*, 75, pp. 227-233, 2001.
- [3] W. F. Caspary, "Concepts of Networks and Deformation Analysis", Monograph 11, School of Surveying, The University of New South Wales, Kensington, Australia, 1988.
- [4] E. W. Grafarend, F. Sanso, eds. *Optimization and design of geodetic networks*, Springer, Berlin, 1985.
- [5] A. R. Amiri-Simkooei, F. Zengeneh-Nejad, J. Asagri, S. Zanimpardaz, "Basic Concepts of Optimization and Design of Geodetic Networks", In *Journal of Surveying Engineering*, pp. 138. 172-183, 2012.
- [6] К. Михаиловић, И. Алексић, *Концепти мрежа у геодетском премеру*. Београд: Геокарта, 2008.
- [7] B. Milovanović, "Designing the Control Networks for Hydrotechnical Objects for the Purpose of Geodetic Monitoring", In *International Symposium on Engineering Geodesy SIG 2016 – Proceedings, Croatian Geodetic Society*, pp. 71-82, 2016.
- [8] S. Vasiljević, B. Milovanović, Z. Gospavić, "Innovated Project of Geodetic Monitoring of "Воџас" Dam", In *International Symposium on Engineering Geodesy SIG 2016 – Proceedings, Croatian Geodetic Society*, pp. 189-199, 2016.
- [9] Б. Миловановић, З. Госпавић, М. Пејовић, С. Васиљевић, „Пројекат основне мреже“, *Зборник радова Националног научног скупа-ГЕО*, стр. 3-11, 2014.
- [10] З. Госпавић, С. Ашанин, Б. Миловановић, М. Пејовић, „Контрола геометрије инжењерских објеката геодетским методама“, *Грађевински календар*, 45, стр. 246-272, 2013.
- [11] С. Ашанин, *Инжењерска геодезија 1*. Београд: Агео, 2003.
- [12] З. Госпавић, *Методологија контроле геометрије инжењерских објеката* [Магистарски рад], Универзитет у Београду, Грађевински факултет, Београд, 1995.
- [13] С. Ашанин, С. Панцић, З. Госпавић, Б. Миловановић, *Збирка одабраних задатака из инжењерске геодезије*. Београд: Геокарта, 2007.
- [14] Б. Божић, *Рачун изравнања – напредни ниво*, Скрипта, Грађевински факултет у Београду, Београд, 2012.
- [15] А. Беговић, З. Госпавић, *Инжењерска геодезија 1*. Београд: Грађевински факултет, Универзитет у Београду, 2016.