

OPTIMIZATION OF GEODETIC NETWORK FOR THE RESTORATION OF SURVEYING IN CM VOJVODA STEPА

ОПТИМИЗАЦИЈА ГЕОДЕТСКЕ МРЕЖЕ ЗА ПОТРЕБЕ ОБНОВЕ ПРЕМЕРА У КАТАСТАРСКОЈ ОПШТИНИ ВОЈВОДА СТЕПА

Goran Marinković¹
Tatjana Kuzmić²
Milan Trifković³

UDK: 528.41
DOI: 10.14415/zbornikGFS33.007
CC-BY-SA 4.0 license

Summary: In the area of Vojvoda Stepa there is already a network of points whose coordinates were determined during surveying process. However, the existing network has sparse density and, hence, does not satisfy needs of maintenance and reconstruction of the survey of the civil area, as well as the realization of geodetic and technical works in the arrangement of the land consolidation. With regard to the predicted geodetic works, the realization of new network is planned which will include certain number of existing trigonometric and polygonal points. The main objective of the project is the realization of the new reference network in the territory of cadastral municipality Vojvoda Stepa, which will in full satisfy needs of maintaining and renewing survey and the needs of cadastre of impartiality. This network will present basis for all works carried out in the process of the land consolidation. In the paper, project solution of geodetic basis is presented. Special emphasis is placed on finding optimal solution, i.e. optimal network design, with fulfilled conditions related to the required quality, that is, the accuracy and reliability of the geodetic basis.

Резиме: На територији насељеног места Војвода Степа већ постоји мрежа геодетских тачака чије су координате одређене у поступку премера. Међутим, постојећа мрежа због недовољне густине, не задовољава потребе одржавања и обнове премера грађевинског реона, као ни потребе реализације геодетско-техничких радова у поступку комасације. С обзиром на планиране геодетске радове, предвиђена је реализација нове мреже која ће укључити одређени број постојећих тригонометријских и полигонских тачака. Као главни циљ пројекта се дефинише реализација нове референтне мреже на територији ове катастарске општине, која ће у потпуности задовољити потребе одржавања и обнове премера и катастра непокретности и представљати основу за све радове који се изводе у поступку комасације. У раду је представљено пројектно решење геодетске основе на територији катастарске општине Војвода Степа, где је посебан акценат стављен на проналажењу оптималног решења, односно проналажењу оптималног дизајна мреже, са испуњеним условима који се односе на захтевани квалитет, односно на тачност и поузданост геодетске основе.

¹ Doc. dr Goran Marinković, dipl inž geod., Fakultet tehničkih nauka Novi Sad, e-mail: goranmarinkovic@uns.ac.rs

² Tatjana Kuzmić, dipl.inž. geod Fakultet tehničkih nauka Novi Sad, e-mail: tatjana.kuzmic@uns.ac.rs

³ Prof. dr Milan Trifković, dipl inž geod., Građevinski fakultet Subotica, e-mail: milantrif@eunet.rs

Keywords: optimization, geodetic basis, quality criterion, surveying plan

Кључне речи: оптимизација, геоде-тска основа, критеријум квалитета, план опажања

1. INTRODUCTION

Geodetic network is defined as the geometric configuration (displacement) of three or more points on the ground that are linked by geodetic measurements (such as directions, angles, azimuths, spatial distances) or by satellite measurements (GPS - Global Positioning System), or a combination of both. For the successful execution of geodetic works of different types, a geodetic network of high quality is required, which enables the execution of works with the appropriate level of accuracy and within the given tolerances.

When a geodetic network is being developed, several general principles must be taken into account:

- geodetic network of points must include the area on which it is defined and meet needs of surveying and marking;
- the accuracy of the network must be homogeneous for all parts and it must meet the accuracy requirements;
- the stabilization of the points must be carried out in an appropriate manner with a precise center for centring instrument and signal or with forced centring devices;
- when selecting the position of a point, it must be taken into account whether it is a location that could impair the stability of the marker by its characteristics [1].

The main and basic goal of the research in this paper is to optimize the geodetic network, ie, optimization of: geometry, accuracy, number of measurements and accuracy of measurements of elementary sizes in the network. In this way, in order to obtain a suitable geodetic network, it is determined which instrument, which method of measurement and under what conditions of accuracy and

1. УВОД

Геодејтска мрежа се дефинише као геометријска конфигурација (размештај) три или више тачака на земљи, које су повезане геодејтским мерењима (као што су правци, углови, азимути, просторне удаљености) или сателитским мерењима (ГПС – глобални позициони систем), или комбинацијом једних и других. За успешно извршавање геодејтских радова различитих врста потребна је геодејтска мрежа високог квалитета која омогућава извођење радова са одговарајућим нивоом тачности и у оквиру задатих толеранција. Када се израђује геодејтска мрежа, мора се водити рачуна о неколико општих принципа:

- геодејтска мрежа тачака мора да обухвати подручје на коме се дефинише и задовољи потребе премера и обележавања;
- тачност мреже мора бити хомогена за све делове и да одговара захтевима тачности;
- стабилизација тачака се мора извршити на одговарајући начин са прецизним центром за центрисање инструмента и сигнала или са уређајима за присилно центрисање;
- при избору положаја тачака мора се водити рачуна да ли се ради о локацијама које би својим карактеристикама могле угрозити стабилност белега [1].

Основни и примарни циљ истраживања у овом раду је да се изврши оптимизација геодејтске мреже, тј. оптимизација: геометрије, тачности, броја мерења и тачности мерења елементарних величина у мрежи. На тај начин утврђује се којим инструментом и методама мерења и под којим условима тачности и условима при мерењу, треба извршити мерења

surveying, measurements of elementary sizes in the network of selected geometry should be performed. Such a network will enable the execution of geodetic works with adequate accuracy where the measurements will be within the tolerance limits [2].

2. OPTIMIZATION OF GEODETIC NETWORKS

Optimization is a science that aims to determine the "best" solutions to certain mathematical problems. The word "optimum" is synonymous with the word "best", which can mean "maximum" or "minimum" depending on the particular case. Optimization is based on different areas of mathematics. It is important to note that optimization techniques are mainly used for decision making. For example, the optimization technique can be used to select the instruments to be used and the local points to be captured when estimating unknown parameters with defined quality [3].

2.1. Classification of methods of optimization

Optimization of designing geodetic networks is classified in different rows - Table 1, in relation to the constant parameters of functional and stochastic model, indirect adjustment by the least squares method. Which optimization method will be applied depends on the type and purpose of the network.

элементарних величина у мрежи изабране геометрије, а у циљу добијања геодетске мреже одговарајућег квалитета. Таква мрежа ће омогућити извршење геодетских радова са одговарајућом тачношћу, где ће се мерења налазити у границама дозвољених толеранција [2].

2. ОПТИМИЗАЦИЈА ГЕОДЕТСКИХ МРЕЖА

Оптимизација је наука чији је циљ да одреди "најбоља" решења за извесне математичке проблеме. Реч "оптимум" је синоним за реч "најбоља", која може да значи "максимум" или "минимум" у зависности од конкретног случаја. Оптимизација је заснована на различитим областима математике. Важно је приметити да су технике оптимизације углавном коришћене за доношење одлука. На пример, техника оптимизације може да се користи за одабир инструмената који ће се користити и локалних тачака које ће се снимати, при процени непознатих параметара са дефинисаним квалитетом [3].

2.1. Подела метода оптимизације

Оптимизација пројектовања геодетских мрежа се класификује унутар различитих редова – Табела 1, и то у односу на константне параметре функционалног и стохастичког модела, посредног изравњања по методи најмањих квадрата. Која ће се метода оптимизације применити зависи од врсте и намене мреже.

Табела 1 – Класификација метода оптимизације геодетских мрежа [4]
Table 1 - Classification of methods of optimization of geodetic network [4]

Пројекат	Константни параметри	Непознати параметри	Решење проблема
0. ред	A	\hat{x} , $Q_{\hat{x}}$	датум
1. ред	P, $Q_{\hat{x}}$	A	дизајн
2. ред	A, $Q_{\hat{x}}$	P	тачност
3. ред	$Q_{\hat{x}}$	A, P	побољшање квалитета

The zero order design implies determining optimal network date when a network design is known, i.e. for planned measurements in a network where the design matrix A is known and the accuracy of measured values P , a cofactor matrix of unknown parameters $Q_{\hat{x}}$ or a vector of unknown parameters \hat{x} is determined. Determining the optimum date depends on the type and purpose of the network.

The first order design leads to defining the optimal design of the geodetic network. It involves solving the problem of determining the optimal positions of the network points, as well as the optimal observation plan. For this purpose, LSM - the Least Squares Method is often applied.

The second order design leads to solving optimal weights or accuracy of the planned measurements in the network, for the known network design and the created criteria matrix. These data are of great importance for the selection of optimal measurement methods and measuring instruments.

The third order design implies optimal improvement of the existing networks in terms of design and accuracy, optimal weights of planned measurements in geodetic networks are determined with additional design in relation to the design of the existing network. The most commonly used is the densification of the network with additional observations or additional points in parts of a small accuracy or reliability [5].

In general, the optimal geodetic network has high precision and reliability and is designed in accordance with economic conditions [6].

3. QUALITY OF GEODETIC NETWORK

When designing a geodetic network, network quality criteria must be defined (Figure 1). The quality of the geodetic network is characterized by precision,

Пројекат 0. реда подразумева одређивање оптималног датума мреже уколико је познат дизајн мреже, тј. за планирана мерења у мрежи где је позната матрица дизајна A и тачност мерених величина P , одређује се матрица кофактора непознатих параметара $Q_{\hat{x}}$ или вектор непознатих параметара \hat{x} . Одређивање оптималног датума зависи од врсте и намене мреже.

Пројекат 1. реда води ка дефинисању оптималног дизајна геодетске мреже. Укључује се решавање проблема одређивања оптималних позиција тачака мреже, као и оптималног плана опажања. У овоме циљу се често примењује МНК – метод најмањих квадрата.

Пројекат 2. реда води ка решавању оптималних тежина или тачности планираних мерења у мрежи, и то за познати дизајн мреже и креирану критеријум матрицу. Ови подаци су од велике важности за избор оптималних метода мерења и инструмената за мерење.

Пројекат 3. реда подразумева оптимално побољшање постојећих мрежа у смислу дизајна и тачности, одређују се оптималне тежине планираних мерења у геодетским мрежама са додатним дизајном у односу на дизајн постојеће мреже. Најчешће се врши прогушћавање мреже додатним опажањима или додатним тачкама у деловима мале тачности или поузданости [5].

Генерално, оптимална геодетска мрежа има високу прецизност и поузданост и дизајнирана је у складу са економским условима [6].

3. КВАЛИТЕТ ГЕОДЕТСКЕ МРЕЖЕ

Када се врши пројектовање геодетске мреже, морају се дефинисати критеријуми квалитета мреже (Слика 1). Квалитет геодетске мреже је окарактерисан прецизношћу, поузданошћу и новчаним трошковима.

reliability and monetary costs.

Repeatability is another criterion for quality control, which is mainly considered for satellite positioning methods [7]. The accuracy criterion most often refers to the accuracy of points and functions and defines the global and local accuracy criteria. Reliability is most often related to internal and external. There are also global and local reliability criteria. The sensitivity criteria are related to network design [8].

Поновљивост је још један критеријум контроле квалитета који се углавном разматра код метода сателитског позиционирања [7]. Критеријум тачности се најчешће односи на тачност тачака и функција и дефинишу се глобални и локални критеријуми тачности. Поузданост се најчешће односи на унутрашњу и спољашњу. Такође постоје глобални и локални критеријуми поузданости. Критеријуми осетљивости су везани за дизајн мреже [8].



Слика 1 – Анализа квалитета геодетских мрежа
Figure 1 - Quality analysis of geodetic networks

Estimates of accuracy and reliability are based on the Least Squares Method and mathematical models of indirect adjustment.

Оцене тачности и поузданости су засноване на Методи најмањих квадрата и математичким моделима посредног изравнања.

3.1. Apriori accuracy analysis

3.1. Претходна анализа тачности

The procedure of the apriori accuracy analysis is described in [9]. The accuracy of measured values, unknown parameters, position accuracy of the points and parameters of the error ellipses are explained in [9] and [10]. The accuracy of the geodetic network depends on:

Поступак претходне анализе тачности је описан у [9]. Тачност мерених величина, непознатих параметара, положајна тачност тачака и параметри елипсе грешака су описани у [9] и [10]. Тачност геодетске мреже зависи од:

- geometry of the network;
- accuracy of measured quantities;
- the accuracy of the given sizes.

- геометрије мреже;
- тачности мерених величина;
- тачности датих величина.

On the basis of the apriori analysis of accuracy, it is possible to choose

На основу претходне анализе тачности се врши избор одговарајућег инструмента и методе рада, као и

appropriate instrument and working method, as well as various other factors in order to achieve the desired accuracy.

After the accuracy analysis, it is necessary to compare the obtained accuracy with the defined accuracy in the project task. If the accuracy obtained from the apriori analysis of the accuracy is identical or better than the accuracy defined by the project task then it can be expected that after the realization of the project, the network will be of adequate quality. Otherwise, changes to the network design, planned measurements or their accuracy are necessary. After the changes are made in the design phase it is necessary to re-perform the apriori analysis of the accuracy. The procedure is repeated until the requirements of the project task are fulfilled.

3.2. Apriori reliability analysis of geodetic networks

In the design phase, an analysis of the apriori reliability of geodetic networks is also performed. Apriori analysis of reliability is explained in [9].

The reliability criteria for geodetic networks are: the homogeneity of the network (each point has the same accuracy - the error ellipses are of the same size and the same orientation) and isotropy of the network - all points have the same parameters of the error ellipses that tend to have geometry of the circle. External reliability deals with the influence of undetected outliers on the final results obtained after adjustment of geodetic networks (coordinates of points, adjusted values, functions whose arguments are unknown sizes).

The theory of internal reliability studies the possibility of eliminating outliers from the results of measured values in the process of adjusting geodetic networks in order to ensure their quality.

If after the apriori analysis, poor

разних других фактора у циљу постизања жељене тачности. После анализе тачности неопходно је упоредити добијену тачност са дефинисаном тачности у пројектном задатку. Ако је добијена тачност из претходне анализе тачности идентична или боља од тачности дефинисане пројектним задатком онда се може очекивати да ће и након реализације пројекта мрежа бити адекватног квалитета. У супротном, неопходне су измене у дизајну мреже, планираним мерењима или њиховој тачности. Након извршених измена у фази пројектовања неопходно је поново урадити претходну анализу тачности. Поступак се понавља све док захтеви из пројектног задатка не буду испуњени.

3.2. Претходна анализа поузданости геодетских мрежа

Поступак претходне анализе тачности је описан у У фази пројектовања се такође врши анализа претходне поузданости геодетских мрежа.

Претходна анализа поузданости геодетских мрежа је описана у [9].

Критеријуми поузданости геодетских мрежа су: хомогеност мреже (свака тачка има подједнаку тачност - елипсе грешака исте величине и исте оријентисаности) и изотропија мреже – све тачке имају исте параметре елипси грешака које теже кругу.

Спољашња поузданост се бави утицајем неоткривених грубих грешака на коначне резултате добијене после изравнања геодетских мрежа (координате тачака, изравнате вредности, функције чији су аргументи непознате величине).

Теорија унутрашње поузданости проучава могућност елиминације грубих грешака из резултата мерених величина у процесу изравнања геодетских мрежа како би се обезбедио њихов квалитет.

Ако се након претходне анализе добије слаба поузданост, онда је неоп-

reliability is obtained, then it is necessary to add new measurements of the sizes and in this way increase the number of excessively measured quantities. The best effect is achieved by closing geometric figures in the geodetic network: a triangle, a rectangle, or a polygon.

4. THE PROJECT OF THE GEODETTIC REFERENCE NETWORK IN CM VOJVODA STЕРА

In the paper, the solution for the needs of the realization of the geodetic network in the territory of the CM Vojvoda Stepa is given. The conceptual design is realized on the basis of the defined project task. Large-scale maps (1: 5000, 1:10 000, 1:25 000) are needed for its creation, as well as situational plans of smaller scale. What scale will be used for design depends on the situation in the field and the size of the area of interest. This project must contain solutions in terms of the size of the area of interest, volume of works, accuracy criteria and method of recording. This phase of the project serves as a basis for detailed elaboration in the next phase, ie. for the realization of the main project.

Cadastrе Municipality of Vojvoda Stepa is located in the Central Banat District, in the municipality of Nova Crnja. The area of CM is 4632ha, while the area of the construction zone is about 268 ha. There is already a network of points in the territory of the settlement, whose coordinates are determined by the classical methods. However, the existing network that has been designed and stabilized for the needs of the national surveying and creating land cadastre has been established in limited conditions of accuracy and reliability. It was established to move from descriptive system of records to numerical, graphic and descriptive data, entered and recorded in the cadastral

ходно додати нова мерења величина и на тај начин повећати број сувишно мерених величина. Најбољи ефекат се постиже затварањем геометријских фигура у геодетској мрежи: троугао, четвороугао или полигон.

4. ПРОЈЕКАТ ГЕОДЕТСКЕ РЕФЕРЕНТНЕ МРЕЖЕ У КО ВОЈВОДА СТЕПА

У раду је дато решење пројекта за потребе реализације геодетске мреже на територији КО Војвода Степа. Идејни пројекат се реализује на основу утврђеног пројектног задатка. За његову израду су потребне карте крупних размера (1:5000, 1:10 000, 1:25 000), као и ситуациони планови ситнијих размера. Која размера ће се користити за пројектовање зависи од ситуације на терену и величине подручја од интереса. Овај пројекат мора да садржи решења у смислу величине подручја од интереса, обима радова, критеријума тачности и методе снимања. Ова фаза пројекта служи као основа за детаљну разраду у наредној фази, тј. за реализацију главног пројекта. Катастарска општина Војвода Степа се налази у Средњебанатском округу, у оквиру општине Нова Црња. Површина КО износи 4632ha, док је површина грађевинског реона око 268 ha. На територији насеља већ постоји мрежа тачака чије су координате одређене класичним методама. Међутим, постојећа мрежа која је пројектована и стабилизована за потребе државног премера и израду катастра земљишта је успостављана у ограниченим условима тачности и поузданости. Успостављана је да би се прешло са описног система евиденције на нумеричке, графичке и описне податке, унете и евидентирание у катастарски операт. Изравнања полигонских влакова су вршена по-

manual. The adjustment of the polygonal string was carried out individually and independently, based on the observed directions and the measured lengths between the polygon points in the string. Due to the way in which they were performed, these measurements were limited in accuracy, so that even the resulting adjusted coordinates had a limited accuracy [11]. Considering the needs of the settlement, the realization of a new network that will include a number of existing trigonometric points is schehudeled. Trigonometric points are identified on the 1: 25000 scale maps and later need to be detected on the ground. Also, in the field it is necessary to check that there is no threat to the stability of these points. If the markers are not moved, points can be used in the future.

4.1. Documentation used for project development

The following documentation was used for the development of the project: existing topographic bases; existing orthophoto plans and elaboration of the existing geodetic networks in CM Vojvoda Stepa.

4.2. Preparation work

At this stage, the collection of existing topographic bases and data on existing geodetic networks in the territory of Vojvoda Stepa was performed. After that, a visual inspection of the area and the detection of points of the existing network was performed.

4.3. Recognizing the geodetic network

Recognizing the polygon network implies determining the locations on the field where the polygon points will be placed. Of course, before this procedure, on the field, the points of the existing network must be identified and

јединачно и независно, на основу опажаних праваца и мерених дужина између полигонских тачака у влаковима. Та мерења су, због начина на који су извођена, ограничене тачности, тако да су и коначно добијене изравнате координате имале ограничену тачност [11]. Са обзиром на потребе насеља, предвиђена је реализација нове мреже која ће укључити одређени број постојећих тригонометријских тачака. Тригонометријске тачке су идентификоване на картама размере 1:25000 и касније их је потребно открити на терену. Такође, на терену је потребно проверити да није дошло до угрожавања стабилности ових тачака. Ако белеге нису померене, тачке се могу користити у даљем раду.

4.1. Документација коришћена за израду пројекта

За израду пројекта је коришћена следећа документација: постојеће топографске подлоге; постојећи ортофото планови и елаборати постојеће геодетске основе у КО Војвода Степа.

4.2. Припремни радови

У овој фази је извршено прикупљање постојећих топографских подлога и података о постојећим геодетским мрежама на територији КО Војвода Степа. Након тога је извршен визуелни преглед подручја и откривање тачака постојеће мреже.

4.3. Рекогносцирање геодетске мреже

Рекогносцирање полигонске мреже подразумева одређивање места на терену на којима ће се поставити полигонске тачке. Наравно, пре овог поступка на терену се морају пронаћи и сигнализирати тачке постојеће мреже. Избор положаја нових

signalized. The choice of the position of the new points is made on the map of scale 1:25 000, taking into account the following:

- the polygon point must respond to its purpose;
- point markers must be protected from destruction or damage;
- the maximum distance between the points is 500m;
- the adjacent points need to be observable and at least two adjacent points must be observed from each point to connect the recording to the network;
- dots must enable optimum surface surveying.

It is necessary that the points of the polygon network be selected appropriately in order to achieve the quality, economy and accuracy of all future geodetic works. Also, the network must be associated with an appropriate number of known points that are evenly distributed. For each stabilized point, a description of the position entered in the Trigonometric Form TO no. 27 [12].

4.4. Concept of reference network

The newly designed network has the following characteristics:

- covers the area of the construction zone of CM Vojvoda Степа;
- is developed as a 1st order polygon network;
- 9 points of the basic network (marked with 339, 498, 525, 495, 334, 499, 521, 522, 335) and 27 points of the construction zone of the settlement (numbered from 1 to 27) are included in the new network;
- planned measured sizes in the network are lengths and directions;
- measurements in the network are adjusted by the least squares method;
- an a priori accuracy estimate was made based on the data of the observation plan and the approximate coordinates of the points.

тачака је извршен на карти размере 1:25 000 и при томе се водило рачуна о следећем:

- полигонска тачка мора да одговора својој намени;
- белеге тачака морају бити заштићене од уништења или оштећења;
- максимално растојање између тачака је 500m;
- суседне тачке се морају догледати и са сваке тачке се морају догледати барем две суседне тачке ради повезивања снимања са мрежом;
- тачке морају омогућити снимање оптималне површине.

Неопходно је да тачке полигонске мреже буду изабране на одговарајући начин како би се постигао квалитет, економичност и тачност свих будућих геодетских радова. Такође, мрежа мора бити повезана са одговарајућим бројем датих тачака које су равномерно распоређене. За сваку стабилизовану тачку се узима опис положаја који је уписан у Тригонометријски образац ТО бр. 27 [12].

4.4. Концепт референтне мреже

Новопроектвана мрежа има следеће карактеристике:

- покрива подручје грађевинског реона КО Војвода Степа;
- развијена је као полигонска мрежа 1. реда;
- у мрежу је укључено 9 тачака основне мреже (обележених са 339, 498, 525, 495, 334, 499, 521, 522, 335) и 27 тачака грађевинског реона насеља (нумерисаних од 1 до 27);
- планиране мерене величине у мрежи су дужине и правци;
- мерења у мрежи се изравнавају по методи најмањих квадрата;
- претходна оцена тачности извршена је на основу података плана опажања и приближних координата тачака.

Figure 2 shows the disposition of the points of the new polygon network of the construction zone of the Vojvoda Stepa cadastre municipality.

На Слици 2 приказана је диспозиција тачака нове полигонске мреже грађевинског реона катастарске општине Војвода Степа.



Слика 2 – Скица полигонске мреже грађевинског реона КО Војвода Степа
Figure 2 - Sketch of the polygon network of the construction zone in CM Vojvoda Stepa

4.5. Choice of measuring method

The network project defines a observation plan, measurement method, instruments and criteria, ie standard deviations. In accordance with these parameters, height and position measurements are performed in the network. Altitude measurements are realized through trigonometric and geometric leveling. Positioning measurements include measurement of:

- horizontal directions;
- oblique lengths;
- vertical angles.

On the basis of positional measurements, the elements necessary for determining the coordinates of the points in the horizontal plane are defined. Within this project, the use of total stations with declared accuracy of angular measurement and lengths is required:

4.5. Избор методе мерења

У пројекту мреже се дефинише план опажања, метод мерења, инструменти и критеријуми, односно стандардна одступања. У складу са овим параметрима се врше висинска и положајна мерења у мрежи. Висинска мерења се реализују кроз тригонометријски и геометријски нивелман. Положајна мерења подразумевају мерење:

- хоризонталних праваца;
- косих дужина;
- вертикалних углова.

На основу положајних мерења се дефинишу елементи потребни за одређивање координата тачака у хоризонталној равни. У оквиру овог пројекта, потребна је употреба тоталних станица са декларисаном тачношћу мерења углова и дужина:

$$\sigma_p = 5'' \quad (1)$$

$$\sigma_D = 5 \text{ mm} + 5 \text{ ppm} \quad (2)$$

4.6. Data processing and defined criteria for the quality of the geodetic 2D network

The adjustment of the measurement results is done using the least squares method, according to the functional model of indirect adjustment. Before adjustment, the functions of the bindings of the measured sizes and the derivation of the correction equations for directions and lengths are formed. Based on the obtained coefficients, the design matrix A and the matrix P are formed.

For the purpose of designing the geodetic 2D network of the construction zone, the following criteria of quality were set in the main project:

- the ratio of large and small semi-axis of the error ellipse should be in the range of values, which are defined as the given criterion:

$$1 \leq \frac{A}{B} \leq 2 \quad (3)$$

- the obtained positioning accuracy of the polygon points, from the apriori analysis must be consistent with the accuracy defined as the given criterion:

$$\sigma_{POL} \leq 15 \text{ mm} \quad (4)$$

- the standard deviations of the measured values must be within the range of values that are defined as the default criterion:

$$\sigma_p \leq 5'' \quad (5)$$

$$\sigma_D \leq 5 \text{ mm} + 5 \text{ ppm} \quad (6)$$

4.6. Обрада података и дефинисани критеријуми квалитета геодетске 2Д мреже

Изравнање резултата мерења се врши по методи најмањих квадрата, према функционалном моделу последног изравнања. Пре изравнања се формирају функције веза мерених величина и изводе једначине поправака за правце и дужине. На основу добијених коефицијената, формира се матрица дизајна А и матрица тежина Р.

За потребе пројектовања геодетске 2Д мреже грађевинског реона, у главном пројекту постављени су следећи критеријуми квалитета:

- однос велике и мале полуосе елипсе грешака треба да се налази у опсегу вредности, које су дефинисане као задати критеријум:

- добијена положајна тачност полигонских тачака, из претходне анализе мора бити сагласна са тачношћу која је дефинисана као задати критеријум:

- стандардне девијације мерених величина морају се налазити у опсегу вредности, које су дефинисане као задати критеријум:

- the obtained internal and external reliability coefficients must be within the range of values defined as the set criteria and recommended for the design of geodetic networks:

- добијени коефицијенти унутрашње и спољашње поузданости морају се налазити у опсегу вредности које су дефинисане као задати критеријум и које се препоручују код пројектовања геодетских мрежа:

$$0,2 \leq r_{ii} \leq 1 \quad (7)$$

4.7. Project solution – the first variant

Apriori analysis of the reliability and accuracy of points and functions in the geodetic network has been carried out with the following characteristics:

- the total number of measured sizes is 130, of which 50 are lengths and 80 directions;
- the total number of unknowns is 82;
- number of degrees of freedom is 48.

Table 2 gives data on the quality of the 2D network, the estimation of the accuracy of the coordinates of the newly projected points and the ratio of the semi-axes of the standard error ellipses. The display shows the characteristic values of the parameters - minimum, maximum and mean values.

4.7. Пројектно решење – прва варијанта

Претходна анализа поузданости и тачности тачака и функција у геодетској мрежи извршена је са следећим карактеристикама:

- укупан број мерених величина је 130, од чега 50 дужина и 80 правца;
- укупан број непознатих је 82;
- број степени слободе је 48.

У Табели 2 дати су подаци о квалитету 2Д мреже, оцена тачности координата новопројектованих тачака и однос полуоса стандардних елипси грешака. Дат је приказ карактеристичних вредности параметара – минимална, максимална и средња вредност.

Табела 2 - Подаци о квалитету и тачности полигонске мреже грађевинског реона КО Војвода Степа (прва варијанта)

Table 2 - Data on the quality and accuracy of the polygon network of the construction zone in CM Vojvoda Stepa (first variant)

	минимум	максимум	средина
Ri (правци)	0,15	0,67	0,36
Ri (дужине)	0,15	1	0,38
σi (правци)	2,86	4,60	3,96
σi (дужине)	0	8,84	5,77
σy	4,20	8,90	6,73
σx	4,70	10	7,63
σpol	6,80	13,40	10,20
A/B	1,10	1,70	1,29

After the analysis of the results is performed, it can be concluded that the proposed first variant satisfies the first, second and third criteria, and does not satisfy the fourth, which means it can not be accepted.

4.8. Project solution – the second variant

Apriori analysis of the reliability and accuracy of points and functions in the geodetic network has been carried out with the following characteristics:

- the total number of measured sizes is 142, of which 50 are lengths and 92 directions;
- the total number of unknowns is 82;
- the number of degrees of freedom is 60.

Table 3 gives data on the quality of the 2D network, the estimation of the accuracy of the coordinates of the newly projected points and the ratio of semi-axes of the standard error ellipses. The display shows the characteristic values of the parameters - minimum, maximum and mean values.

Након извршене анализе добијених резултата може се закључити да предложена прва варијанта задовољава први, други и трећи критеријум, а не задовољава четврти, што значи да не може бити прихваћена.

4.8. Пројектно решење – друга варијанта

Претходна анализа поузданости и тачности тачака и функција у геодетској мрежи извршена је са следећим карактеристикама:

- укупан број мерених величина је 142, од чега 50 дужина и 92 правца;
- укупан број непознатих је 82;
- број степени слободе је 60.

У Табели 3 дати су подаци о квалитету 2Д мреже, оцена тачности координата новопројектованих тачака и однос полуоса стандардних елипси грешака. Дат је приказ карактеристичних вредности параметара – минимална, максимална и средња вредност.

Табела 3 - Подаци о квалитету и тачности полигонске мреже грађевинског реона КО Војвода Степа (друга варијанта)

Table 3 - Data on the quality and accuracy of the polygon network of the construction zone in CM Vojvoda Stepa (second variant)

	минимум	максимум	средина
Ri (правци)	0,19	0,68	0,42
Ri (дужине)	0,18	1	0,43
σI (правци)	2,82	4,50	3,78
σI (дужине)	0	8,36	5,51
σy	4,10	8,20	6,12
σx	4,60	9,80	7,01
σpol	6,40	12,20	9,33
A/B	1,10	1,90	1,33

After the analysis of the results is performed, it can be concluded that the proposed second variant satisfies the first, second and third criteria, and does not satisfy the fourth, which means it can not be accepted.

4.9. Project solution – the third variant

Apriori analysis of the reliability and accuracy of points and functions in the geodetic network has been carried out with the following characteristics:

- the total number of measured sizes is 160, of which 50 are lengths and 110 directions;
- the total number of unknowns is 82;
- the number of degrees of freedom is 78.

Table 4 gives data on the quality of the 2D network, the estimation of the accuracy of the coordinates of the newly projected points and the ratio of semi-axes of the standard error ellipses. The display shows the characteristic values of the parameters - minimum, maximum and mean values.

Након извршене анализе добијених резултата може се закључити да предложена друга варијанта задовољава први, други и трећи критеријум, а не задовољава четврти, што значи да не може бити прихваћена.

4.9. Пројектно решење – трећа варијанта

Претходна анализа поузданости и тачности тачака и функција у геодетској мрежи извршена је са следећим карактеристикама:

- укупан број мерених величина је 160, од чега 50 дужина и 110 правца;
- укупан број непознатих је 82;
- број степени слободе је 78.

У Табели 4 дати су подаци о квалитету 2Д мреже, оцена тачности координата новопројектованих тачака и однос полуоса стандардних елипси грешака. Дат је приказ карактеристичних вредности параметара – минимална, максимална и средња вредност.

Табела 4 - Подаци о квалитету и тачности полигонске мреже грађевинског реона КО Војвода Степа (трећа варијанта)

Table 4 - Data on the quality and accuracy of the polygon network of the construction zone in CM Vojvoda Stepa (third variant)

	минимум	максимум	средина
Ri (правци)	0,20	0,76	0,48
Ri (дужине)	0,20	1	0,49
σ_I (правци)	2,47	4,49	3,56
σ_I (дужине)	0	7,47	5,20
σ_y	4	8,10	5,74
σ_x	4	9,30	6,37
σ_{pol}	5,70	11,60	8,64
A/B	1,10	1,70	1,36

After the analysis of the results obtained, it can be concluded that the proposed third variant satisfies all four criteria.

Након извршене анализе добијених резултата може се закључити да предложена трећа варијанта задовољава сва четири критеријума.

5. CONCLUSION

The paper presents the project of the geodetic network in the territory of the construction zone in CM Vojvoda Stepa. The project was presented with a special emphasis on optimization of the geodetic network, i.e. the approximate positions of the network points and the plan of observation in the network are defined. Adding new directions was done until the required quality criteria were achieved, i.e. accuracy and reliability. After the third iteration, a final observation plan was adopted which satisfies predefined quality requirements. An accuracy has been obtained that meets all criteria relating to the design of the first order polygonal networks, as can be seen from the middle errors of determining the coordinates of the points of the geodetic network. Based on the results obtained in this paper, the following can be stated:

- the network is homogeneous. The relationship between the large and the small semi-axis of the error ellipse is in the range of values, which are defined as the set criteria ($1 \leq \frac{A}{B} \leq 2$).
- the network has satisfactory accuracy. The obtained positional accuracy of the polygon points obtained from the apriori analysis agrees with the accuracy defined as the given criterion ($\sigma_{POL} \leq 15 \text{ mm}$).
- standard deviations of measured values are in the range of values, which are defined as the default criterion ($\sigma_{\alpha} \leq 5''$ and $\sigma_D \leq 5 \text{ mm} + 5 \text{ ppm}$).
- the obtained internal and external reliability coefficients are in the range of values, defined as the set criteria and recommended in geodetic network designs ($0,2 \leq r_{ii} \leq 1$).

Based on the implemented first order optimization of the geodetic network, it can be concluded that a network solution has been found that fully meets criteria of quality that were set and its

5. ЗАКЉУЧАК

У раду је дат приказ пројекта геодетске мреже на територији грађевинског реона КО Војвода Степа. Презентонан је пројекат, са посебним акцентом на оптимизацији геодетске мреже, тј. дефинисани су приближни положаји тачака мреже и план опажања у мрежи. Вршено је додавање нових праваца, све док нису постигнути захтевани критеријуми квалитета, тј. тачности и поузданости.

Након треће итерације је усвојен коначни план опажања који би задовољио унапред дефинисане захтеве квалитета. Добијена је тачност која задовољава све критеријуме који се односе на пројектовање полигонских мрежа првог реда, што се види по средњим грешкама одређивања координата тачака геодетске мреже. На основу резултата који су добијени у овом раду, може се констатовати следеће:

- мрежа је хомогена. Однос велике и мале полуосе елипсе грешака налази се у опсегу вредности, које су дефинисане као задати критеријум ($1 \leq \frac{A}{B} \leq 2$).
- мрежа је задовољавајуће тачности. Добијена положајна тачност полигонских тачака, из претходне анализе је сагласна са тачношћу која је дефинисана као задати критеријум ($\sigma_{POL} \leq 15 \text{ mm}$).
- стандардне девијације мерених величина се налазе у опсегу вредности, које су дефинисане као задати критеријум ($\sigma_{\alpha} \leq 5''$ и $\sigma_D \leq 5 \text{ mm} + 5 \text{ ppm}$).
- добијени коефицијенти унутрашње и спољашње поузданости се налазе у опсегу вредности, које су дефинисане као задати критеријум и које се препоручују у пројектовањима геодетских мрежа ($0,2 \leq r_{ii} \leq 1$).

На основу спроведене оптимизације првог реда геодетске мреже, може се закључити да је пронађено пројектно

future purpose. The network has an optimal design, i.e. the optimal position of the points and the observation plan in the network are defined.

решење мреже које у потпуности задовољава постављене критеријума квалитета и њене будуће намене. Мрежа има оптималан дизајн, тј. дефинисан је оптималан положај тачака и план мерења у мрежи.

REFERENCES

- [1] Беговић А.: "Инжењерска геодезија." Агео д.о.о., Београд, **2003**.
- [2] Трифковић М., Нинков Т., Маринковић Г.: "Комасација." ФТН издаваштво, Нови Сад, **2013**.
- [3] Dalmolin Q., Oliveira R.: "INVERSE EIGENVALUE PROBLEM APPLIED TO WEIGHT OPTIMISATION IN A GEODETIC NETWORK," *Surv. Rev.*, vol. 43, no. 320, pp. 187–198, **2011**.
- [4] Schmitt G.: "OPTIMIZATION OF GEODETIC NETWORKS," *Rev. Geophys. Sp. Phys.*, vol. 20, no. 4, pp. 877–884, **1982**.
- [5] Seemkoeei A. A.: "STRATEGY FOR DESIGNING GEODETIC NETWORK WITH HIGH RELIABILITY AND GEOMETRICAL STRENGTH," *J. Surv. Eng.*, vol. 127, no. 3, pp. 104–117, **2001**.
- [6] Eshagh M., Alizadeh-Khameneh M. A.: "The effect of constraints on bi-objective optimisation of geodetic networks," *Acta Geod Geophys*, vol. 50, no. 4, pp. 449–459, **2015**.
- [7] Amiri-Simkoeei A., Asce M., Asgari J., Zangeneh-Nejad F., Zaminpardaz S.: "Basic Concepts of Optimization and Design of Geodetic Networks," *J. Surv. Eng. © ASCE*, vol. 138, pp. 172–183, **2012**.
- [8] Radojčić S.: "KONCEPT POUZDANOSTI GEODETSKIH MREŽA," *Vojnoteh. Glas.*, vol. 2, pp. 179–187, **2010**.
- [9] Михаиловић К., Алексић И.: "Концепти мрежа у геодетском премеру." Геокарта д.о.о. и Привредно друштво за картографију, Београд, **2008**.
- [10] Caspary W. F.: *Concepts of network and deformation analysis*. Sydney, Australia: Monograph 11, School of Surveying, The University of New South Wales, **2000**.
- [11] Маринковић Г., Трифковић М., Лазић Ј.: "КВАЛИТЕТ ГЕОДЕТСКИХ ПОДЛОГА ЗА ПОТРЕБЕ УРБАНИЗМА - УЗРОЦИ И ПОСЛЕДИЦЕ," *ЗБОРНИК РАДОВА ГРАЂЕВИНСКОГ ФАКУЛТЕТА СУБОТИЦА*, vol. 27, pp. 183–192, **2015**.
- [12] Алексић И., Врачарић Р., Гучевић Ј.: *Геодетски премер*. Београд: Републички геодетски завод, **2011**.