

# GEODETIC MONITORING OF LANDSLIDE USING A MEMS ACCELEROMETER AS AN ACTIVATION ELEMENT OF LANDSLIDE MOVEMENT

## ГЕОДЕТСКО ПРАЋЕЊЕ КЛИЗИШТА УПОТРЕБОМ МЕМС АКЦЕЛЕРОМЕТРА КАО АКТИВАЦИОНОГ ЕЛЕМЕНТА ПОКРЕТАЊА КЛИЗИШТА

Miroslav Mucić<sup>1</sup>, Stefan Miljković<sup>2</sup>

Paper type: Original scientific paper  
Received: 28.11.2022.  
Accepted: 9.12.2022.  
Available online: 15.12.2022.

UDK: 528.3:624.131.542  
DOI: 10.14415/JFCE-887  
CC-BY-SA 4.0 license

**Summary:** The occurrence of a landslide is a natural disaster. Therefore, there is a need to monitor landslides. A proposal of a landslide monitoring project will be elaborated. At the very beginning, a reader will get acquainted with the terminology itself and the reasons why landslide monitoring is important, as well as the history and evolution of landslide monitoring systems. Then, in the theoretical part, the main theoretical foundations for the creation of such systems will be described and the selected instruments, sensors and software solutions that can be used for such a project will be briefly described. One of the main components of such a system is a control network for monitoring the landslides, where the basic elements that make up a project of a control network for monitoring will be presented, namely a shape of the network, criteria for the creation and quality of the geodetic network, the number and arrangement of points in the network, methods for leveling and

**Резиме:** Појава клизишта представља природну непогоду. Самим тим, долази до потребе праћења клизишта. Обрадиће се један предлог пројекта мониторинга клизишта. На самом почетку читалац ће се упознати са самом терминологијом и разлозима зашто је битан мониторинг клизишта, као и историјом и еволуцијом система за мониторинг клизишта. Затим у теоријском делу описаће се главне теоријске основе за израду оваквих система и укратко описати изабране инструменте, сензоре и софтверска решења која се могу користити за овакав један пројекат. Као једна од главних компоненти оваког система јесте геодетска мрежа за мониторинг клизишта, где ће се приказати основни елементи који чине један пројекат геодетске мреже за мониторинг, а то су облик мреже, критеријуми за израду и квалитет геодетске мреже, број и распоред тачака у мрежи, методе за изравнање и претходну оцену тачности мреже,

---

<sup>1</sup> Miroslav Mucić, University of Novi Sad, Faculty of Civil Engineering Subotica, Kozaračka 2a, Subotica, Serbia, e-mail: miroslavmucic@yahoo.com

<sup>2</sup> Stefan Miljković, University of Novi Sad, Faculty of Civil Engineering Subotica, Kozaračka 2a, Subotica, Serbia, e-mail: stefan@gf.uns.ac.rs

preliminary assessment of network accuracy, working principles of accelerometers based on MEMS technology, a total station and a control center. A proposal for a system for landslides monitoring at the exit portals of the tunnel in Čortanovci, section Stara Pazova - Novi Sad of the high-speed railway was presented, where a control monitoring network would be designed for the needs of such a project. An observation plan and a preliminary estimation of accuracy were proposed, as well as the choice of types of markers for fixing those points in the field. Observation plans for the zero and control epochs are described and shown, as well as the results of the previous accuracy estimation. The types of instruments and sensors to be used are listed and described. The conclusion will show that the development of technologies allows us to do monitoring projects that meet the required accuracy criteria with less resources.

**Keywords:** Landslide, Monitoring, MEMS - accelerometers.

## 1. INTRODUCTION

In the field of engineering geodesy, monitoring the behavior of the terrain is only one of the areas that geodesy as a science deals with. With the advent of new technologies, we have long since moved into a new technological era characterized by the emergence of new technologies for data acquisition: Global Navigation Satellite Systems (GNSS), motorized total stations, modern geotechnical sensors, scanners, as well as advances in the field of communications, primarily wireless. New technologies for the collection and processing of data in digital form have conditioned the development of new systems that enable rapid collection and processing of data from the field, which has contributed to a new approach being

принципи рада акцелерометара на базираних на MEMS технологији, тоталне станице и контролног центра. Приказан је предлог система за праћење клизишта на излазним порталима тунела у Чортановцима, на делу брзе пруге Стара Пазова – Нови Сад, где би за потребе таквог једног пројекта била пројектована геодетска мрежа за мониторинг. Предложен је план опажања и претходна оцена тачности, као и избор врста белега којим би се те тачке стабилизовале на терену. Описан је и приказан план опажања за нулту и контролне епохе, као и резултати претходне оцене тачности. Наведени и описани су и типови инструмената и сензора који треба да се користе. Закључак ће показати да развој технологија омогућава да сада са мање средстава можемо урадити пројекте мониторинга који задовољавају тражене критеријуме тачности.

**Кључне речи:** Клизиште, Мониторинг, MEMS – акцелерометри.

## 1. УВОД

У области инжењерске геодезије, праћење понашања терена представља само једну од области којом се геодезија као наука бави. Са појавом нових технологија, већ одавно се прешло у нову технолошку еру коју карактеришу појава нових технологија за аквизицију података: глобални сателитски системи за позиционирање (GNSS), моторизоване тоталне станице, модерни геотехнички сензори, скенери, као и напредак на пољу комуникација, пре свега бежичних. Нове технологије за сакупљање и обраду података у дигиталном облику су условиле развој нових система који омогућавају брзо прикупљање и обраду података са терена, што је

applied to this area. It meant permanent monitoring of the terrain and facilities with an accuracy that met the requested requirements. In addition to accuracy, such systems had to meet other requirements: configurability, modularity, availability, robustness, etc. Terrain monitoring in areas where there are landslides will be processed. Monitoring terrain positions is one of the basic tasks encountered in geodetic practice. Solutions for these types of works belong to the field of deformation analysis, which involves periodic measurements and comparison of the results. For a long time, the characteristics of both geodetic and geotechnical instrumentation were such that it took a certain amount of time to perform measurements and process data, which made it impossible to carry out real-time and near-real-time monitoring. With the development of instrumentation and communication technologies, the time required for data acquisition and processing has been drastically reduced. The application of automatic shape recognition methods within sensor technology enabled automatic measurement (without the presence of an operator), while wireless communication technologies enabled placement of measuring instruments in convenient locations without restrictions in terms of communication availability. Also, increase in computer processing power ensured fast enough processing and representation of results. The main part refers to analysis of existing technologies that are applied in the field of terrain monitoring - landslides, periodic measurements and real-time measurements. This includes appropriate sensors, primarily geodetic and geotechnical, monitoring methods, applied communication technologies. As part of the practical part, the proposal of the methodology of the system for monitoring landslides in real time in the area of landslides near the exit portals of the railway tunnels in Čortanovci will be presented.

допринело да се на ову област почне примењивати нов приступ. Он је подразумевао перманентно праћење терена и објеката са тачношћу која је задовољавала постављене захтеве. Поред тачности, овакви системи су морали испунити и друге захтеве: конфигурабилност, модуларност, доступност, робусност, итд. Обрадиће се праћење терена на подручјима на којима се налазе клизишта. Задаци праћења позиција терена спадају у један од основних задатака који се срећу у геодетској пракси. Решења за ове врсте радова налазе се у домену деформационе анализе која подразумева периодично вршење мерења и поређење резултата. Карактеристике како геодетске, тако и геотехничке инструментације су дуго времена биле такве, да је за извођење мерења и обраду података било потребно одређено време што је онемогућавало спровођење праћења у реалном времену и блиско реалном времену. Развојем инструмената и комуникационих технологија, време потребно за аквизицију и обраду података се драстично смањило. Примена метода аутоматског препознавања облика у оквиру сензорске технологије омогућила је аутоматско извођење мерења (без присуства оператора), док су бежичне комуникационе технологије омогућиле постављање мерних инструмената на погодне локације без ограничења у смислу доступности комуникација. Такође, повећање процесорске моћи рачунара обезбедило је довољно брзу обраду и репрезентацију резултата. Главни део се односи на анализу постојећих технологија које се примењују у области праћења терена – клизишта, периодичним мерењима и мерењем у реалном времену. То укључује одговарајуће сензоре, пре свега геодетске и геотехничке, методе праћења, примењиване комуникационе технологије. У оквиру

практичног дела обрадиће се предлог методологије рада система за праћење клизишта у реалном времену на подручју клизишта код излазних портала железничких тунела у Чортановцима.

## 2. THEORETICAL BASIS

### 2.1. Landslide monitoring systems

Geodetic works for the monitoring system - landslide monitoring comprise the following basic works:

- designing a geodetic network for monitoring,
- choice of instruments for measurement and activation, and
- control unit for monitoring.

Each of the mentioned works has its own separate entities that depend on the type of landslide monitoring, the required accuracy, as well as the financial aspect of the project.

The development of technologies gives rise to the possibility of developing a system for monitoring landslides that allows monitoring to be carried out with great accuracy, very quickly and with a small number of personnel required to work on such projects.

### 2.2. Designing a geodetic network for monitoring landslides

During the geodetic works that include monitoring, it is very important to correctly choose the geodetic network from which measurements will be made in the field, and in the later phase control and monitoring of objects of interest, whether they are bridges, dams or landslides. Before any geodetic measurement, it is necessary to get acquainted in detail with the area of the

## 2. ТЕОРИЈСКЕ ОСНОВЕ

### 2.1. Системи за праћење клизишта

Геодетски радови код система за праћење – мониторинг клизишта чине следеће основне компоненте:

- пројектовање геодетске мреже за мониторинг,
- избор инструмената за мерење и активацију и
- контролна јединица за мониторинг.

Свака од наведених компоненти има и своје посебне целине које зависе од врсте мониторинга клизишта, тражене тачности, као и финансијског аспекта пројекта.

Развојем технологија јавља се могућност развоја система за праћење клизишта који омогућавају да се мониторинг изврши са великом тачношћу, веома брзо и са малим бројем потребног особља за рад на таквим пројектима.

### 2.2. Пројектовање геодетске мреже за праћење клизишта

Приликом геодетских радова који обухватају мониторинг врло је битан правилан избор геодетске мреже са које ће се вршити мерења на терену, а у каснијој фази контрола и праћење објеката од интереса, било мостова, брана или клизишта. Пре било каквих геодетских мерења, неопходно је детаљно се упознати са подручјем клизишта које се прати. Пројектним

landslide that is being monitored. With the project assignment, an investor expresses intentions regarding the landslide, provides necessary data about it (size, shape, characteristics), as well as the most important limitations and all other data that are important for the development of the project. In the field, it is necessary to determine whether geodetic foundations already exist, as well as their physical condition, the arrangement and position of existing buildings and their mutual connection, the possibility of access to points, various movement bans and all other relevant facts. The number of instruments and people who will be involved in geodetic work also dictates the duration of the field work [1]. In addition, it is necessary to collect all geodetic bases for designing with all graphic and numerical content.

### **Grid shape**

The shape of the geodetic network adapts to the object and terrain configuration. A lot of specificities must be considered, which the shape of the network should satisfy. The geodetic network consists of a series of points of the same order that are connected to each other in figures [2].

The forms of the geodetic networks in engineering can also be observed from the point of view of the characteristics of the object. Monitoring and building tunnels are characterized by a fact that an above ground and underground network must be maintained. The overhead grid is usually shaped like chains of triangles or quadrangles. Nowadays, it can be developed using GNSS technology, so one quadrangle can be projected at the entrance and exit [14]. Underground networks in the past were usually developed in the form of dead-ended polygonal traverses, but this is no longer done due to extremely low reliability. Today, underground networks are developed in the form of chains of triangles or double polygonal

задатком инвеститор изражава своје намере у вези са клизиштем, даје неопходне податке о њему (величина, облик, карактеристике), као и најважнија ограничења и све друге податке који су од значаја за израду пројекта. На терену је потребно утврдити да ли већ постоје геодетске основе, као и њихово физичко стање, распоред и положај постојећих објеката и њихову међусобну повезаност, могућност приступа тачкама, разним забранама кретања и свим осталим релевантним чињеницама. Број инструмената и људи који ће бити укључени у геодетске радове такође нам диктира трајање теренских радова [1]. Осим тога, потребно да се прикупе све геодетске подлоге за пројектовање са целокупним графичким и нумеричким садржајем.

### **Облик мреже**

Облик геодетске мреже прилагођава се објекту и конфигурацији терена. Мора се водити рачуна о низу специфичности којима се треба удовољити облик мреже. Геодетска мрежа се састоји од низа тачака истог реда које су међусобно спојене у фигуре [2].

Облици геодетских мрежа у инжењерству се могу посматрати и са становишта карактеристика објекта. Код мониторинга и изградње тунела је карактеристично да се мора водити надземна и подземна мрежа. Надземна мрежа је обично облика ланаца троуглова или четвороуглова. У данашње време може се развијати применом GNSS технологије, па се могу пројектовати по један четвороугао на улазу и излазу [14]. Подземне мреже у прошлости обично су развијане у облику полигонских влакова, и то слепих, али то се више не ради због изузетно мале поузданости. Данас се подземне мреже развијају у облику ланаца троуглова или двоструких

traverses [3]. Leveling (1D) networks are designed in the form of inserted leveling traverses that must rely on state network benchmarks, and points of the basic 2D network are usually used for the points of the 1D network near the object [4][5].

### Eligibility criteria

The criteria for the design of the project are defined based on the project task and requirements defined based on the well-known rules on the quality criteria of the geodetic network. Quality criteria are defined by the designer in accordance with the principles of the profession. Based on the task, the standard deviation of the position of the grid points is determined. The positional error should be negligible compared to the error of the works carried out from that network. The engineer also usually defines the following criteria: the network must be homogeneous-isotropic, the local measure of internal reliability must be greater than the given value (for a 2D network it is 0,3, and for a 1D network 0,2) and that the marginal value of the gross error that is data-snooping the test can "reliably" detect findings in the range of five times to seven times the standard of measurement for a particular measurement.

### Number and arrangement of points

The number and arrangement of the points depend on the characteristics of the object, the characteristics of the terrain and the requirements related to the number and arrangement of characteristic points on the object, which are marked or whose position is controlled during geometry control, as well as defined criteria. When planning the layout of points in the network, the following requirements should be considered:

полигонских влакова [3]. Нивелманске (1D) мреже пројектују се у виду уметнутих нивелманских влакова који се морају ослањати на репере државне мреже, а за тачке 1D мреже у близини објекта обично се користе тачке основне 2D мреже [4][5].

### Критеријуми

Критеријуми за израду пројекта дефинишу се на основу пројектног задатка и захтева који се дефинишу на основу добро познатих правила о критеријумима квалитета геодетске мреже. Критеријуме квалитета дефинише пројектант у складу са принципима струке. На основу задатка одређује се стандардно одступање положаја тачака мреже. Положајна грешка треба да је занемарљива у односу на грешку радова који се изводе са те мреже. Пројектант још дефинише уобичајено следеће критеријуме: мрежа мора да је хомогено-изотропна, локална мера унутрашње поузданости треба да је већа од задате вредности (за 2D мрежу је 0,3, а 1D 0,2) и да маргинална вредност грубе грешке која се data-snooping тестом може "сигурно" открити налази у интервалу од пет пута до седам пута стандард мерења за поједино мерење.

### Број и распоред тачака

Број и распоред тачака зависе од карактеристика објекта, карактеристика терена и захтева везаних за број и распоред карактеристичних тачака на објекту, које се обележавају или чији положај се контролише приликом контроле геометрије, као и дефинисаних критеријума. Приликом планирања распореда тачака у мрежи треба водити рачуна о следећим захтевима:

- each grid point should be viewed from at least two neighboring grid points,
  - each point of the object must be surveyed from a minimum of two grid points,
  - the points of the basic network are placed on stable ground,
  - the points of the basic network must always be accessible, and it must be ensured that they are not destroyed during the exploitation of the monitored landslide,
  - highly accurate point surveying is performed from a minimum of three basic grid points.
- свака тачка мреже треба да се догледа са минимум две суседне тачке мреже,
  - свака тачка објекта мора се снимити најмање са две тачке мреже,
  - тачке основне мреже постављају се на стабилном терену,
  - тачке основне мреже морају увек бити доступне и мора се обезбедити да не буду уништене током експлоатације праћеног клизишта и
  - високо тачно снимање тачака изводи се са минимум три тачке основне мреже.

#### **Adjustment of geodetic grids - by the Least Squares Method (LSM)**

For the purposes of leveling geodetic networks by LSM, the Gauss-Markov model (GMM) is used, which represents a linear or linearized mathematical model, which refers to the functional and stochastic part and defines the relations between realized observations and unknown parameters of the geodetic networks. Evaluation of functional parameters in linear or linearized measurement models is performed using LSM [6]. GMM is a mathematical model that consists of a functional and a stochastic part. The functional part should be linear or linearizable. The functional model establishes a connection between measured quantities and unknown parameters [6].

#### **Materialization of the network**

This phase of geodetic network establishment includes terrain reconnaissance, point stabilization and field measurement. These procedures

#### **Изравнања геодетских мрежа - методом најмањих квадрата (МНК)**

За потребе изравнања геодетских мрежа по МНК користи се Гаус-Марковљев модел (ГММ) који представља линеаран или линеаризован математички модел, који се односи на функционални и стохастички део и дефинише релације између реализованих опажања и непознатих параметара геодетских мрежа. Оцењивање функционалних параметара у линеарним или линеаризованим моделима мерења, врши коришћењем МНК [6]. ГММ је математички модел који се састоји од функционалног и стохастичког дела. Функционални део треба да је линеаран или да се може линеаризовати. Функционални модел успоставља везу између мерених величина и непознатих параметара [6].

#### **Материјализација мреже**

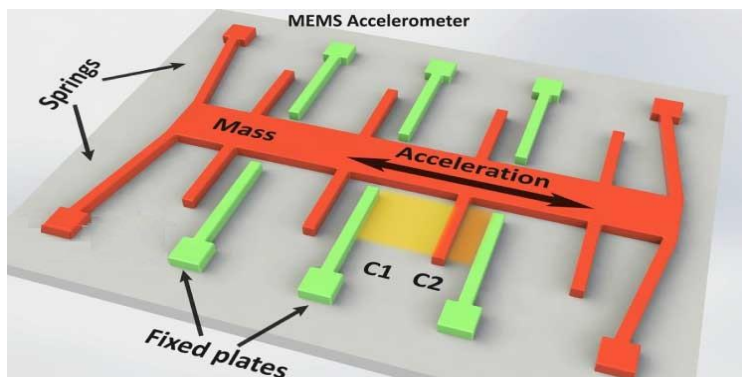
Ова фаза успостављања геодетске мреже укључује рекогносцирање терена, стабилизацију тачака и мерење на терену. Ови поступци су

are different for a horizontal, vertical or spatial geodetic network.

### 2.3. MEMS accelerometers

MEMS accelerometers are used wherever there is a need to measure linear motion. In addition to linear movement, the strength of linear impact or vibration can be measured, but without a fixed reference. They measure the linear acceleration of whatever they are attached to.

An accelerometer based on MEMS technology measures acceleration by measuring the change in capacitance. Its microstructure is shown in Figure 1. It has a mass attached to a spring that is constrained to move along one direction and a fixed outer plate. When acceleration is applied towards a certain direction, the mass will move and the capacitance between the plate and the mass will change. This change in capacity will be measured, processed and will correspond to a certain acceleration value [7].



Слика 1. – Принцип рада MEMS акцелерометра [15]  
Figure 1. – The working principle of the MEMS accelerometer [15]

### 2.4. Total stations

During geodetic measurements of any kind, the most used instrument is a total station, a device intended for measuring

различити за хоризонталну, висинску или просторну геодетску мрежу.

### 2.3. MEMC акцелерометри

MEMC акцелерометри се користе свуда где постоји потреба за мерење линеарног кретања. Осим линеарног кретања може се мерити јачина линеарног удара или вибрација, али без фиксне референце. Они мере линеарно убрзање било чега за шта су везани.

Акцелерометар направљен на бази MEMC технологије мери убрзање мерењем промене у капацитету. Његова микро структура је приказана на Слици 1. Има масу причвршћену на опругу која је ограничена да се креће дуж једног правца и фиксираних спољних плоча. Када се примени убрзање у одређеном смеру, маса ће се померити и промениће се капацитет између плоче и масе. Ова промена у капацитету ће се мерити, обрађивати и одговараће одређеној вредности убрзања [7].

### 2.4. Тоталне станице

Приликом геодетских мерења било које врсте, инструмент који се највише користи јесте тотална станица, уређај



lengths, horizontal and vertical angles [8]. When monitoring landslides, a device is needed to measure angles and lengths, therefore a total station is the best choice, because it represents the best ratio of work speed and accuracy.

## 2.5. Control center

The control unit represents the main center where data is collected that are measured on the ground during geodetic works on landslide monitoring [9]. This system consists of hardware - a computer and a software part that is a program for collecting and analyzing and displaying the collected data. One of the software tools for this purpose is Leica GeoMos [10].

## 2.6. The task and objectives of the monitoring project

Monitoring is based on the need to monitor an active landslide using modern technologies and sensors based on MEMS technology - accelerometers, as an activation sensor element. The research part describes the design of a special purpose geodetic network for monitoring landslides, as well as the selection of places for activation monitoring element.

## 3. RESULTS AND DISCUSSION

The proposal for a modern concept of landslide monitoring is based on the need to monitor an active landslide in the area of the cadastral municipality of Čortanovci, more specifically at the exit portals of the newly built tunnels for railway traffic. The set accuracy criteria that the future geodetic monitoring network should meet are as follows:

намењен мерењу дужина, хоризонталних и вертикалних углова [8]. Приликом мониторинга клизишта потребан је уређај којим ће се мерити углови и дужине, самим тим тотална станица је најбољи избор, зато што она представља најбољи однос брзине рада и тачности.

## 2.5. Контролни центар

Контролна јединица представља главни центар где се врши прикупљање података који се мере на терену приликом геодетских радова на мониторингу клизишта [9]. Овај систем се састоји од хардвера – рачунара и софтверског дела који представља програм за сакупљање и анализу и приказ прикупљених података. Један од софтверских алата за ову намену јесте и Leica GeoMos [10].

## 2.6. Задатак и циљеви израде пројекта мониторинга

Мониторинг је заснован је на потреби праћења активног клизишта употребом савремених технологија и сензора заснованих на технологији МЕМС – акцелерометара, као активационог сензорског елемента. У истраживачком делу описано је пројектовање геодетске мреже посебне намене за праћење клизишта, као и одабир места за активационе елементе праћења.

## 3. РЕЗУЛТАТИ И ДИСКУСИЈА

Предлог савременог концепта праћења клизишта заснован је на потреби праћења активног клизишта на реону катастарске општине Чортановци, тачније на излазним порталима новоизграђених тунела за железнички саобраћај. Задати критеријуми тачности које будућа геодетска мрежа мониторинга треба да задовољи су следећи:

The network at epoch zero (Epoch 0) must be optimized with the following criteria:

- Positional accuracy: 5 mm
- Homogeneity (ratio of minor to major semi-axis of absolute error ellipse): 1:2 or better.

Network in other measurement epochs:

- Positional accuracy: 10 mm.
- Homogeneity: 1:2 or better.

Мрежа у нултој епохи (Епоха 0) мора бити оптимизована са следећим критеријумима:

- Положајна тачност: 5 mm
- Хомогеност (однос мале и велике полуосе апсолутне елипсе грешака): 1:2 или боља.

Мрежа у осталим епохама мерења:

- Положајна тачност: 10 mm.
- Хомогеност: 1:2 или боља.

### 3.1. Basic information about the project

During the reconstruction and construction of the high-speed railway on the section from Stara Pazova to Novi Sad, near the town of Čortanovci, on the part of the railway where the construction of two tunnels is planned, at the exit portals, during geological tests before the construction of the tunnels themselves, it was determined that there is an active landslide at the specified location (Figure 2).

### 3.1. Основни подаци о пројекту

Приликом реконструкције и изградње брзе железничке пруге на деоници од Старе Пазове до Новог Сада, код места Чортановци, на делу пруге где је пројектована изградња два тунела, на излазним порталима, приликом геолошких испитивања пре изградње самих тунела утврђено је да на наведеној локацији постоји активно клизиште (Слика 2.).



Слика 2. Аеро снимак подручја клизишта у Чортановцима

Figure 2. Aerial view of the landslide area in Čortanovci

Извор/Source: <https://geosrbija.rs>

After the rehabilitation of the landslide and completion of the tunnel, we will process the monitoring system of the given landslide.

The following topics will be covered:

- selection of geodetic networks, previous assessment of accuracy,
- total stations for measuring lengths and angles,
- MEMS accelerometers (as an activation element of the tracking system), and
- control center for monitoring landslide movement.

Monitoring is based on the need to monitor an active landslide using modern technologies and sensors based on MEMS technology - accelerometers as an activation sensor element. It will be done by designing a special-purpose geodetic network for monitoring landslides, as well as by choosing a place for the activation elements of the monitoring.

According to the criteria, the optimal observation plan, the number of measurements and the instruments with which the measurements will be performed (both for the epoch zero and for the other epochs) should be selected. Special attention should be paid to the criterion of economy of works. When designing, one should also choose instruments that will allow the required accuracy to be achieved. Therefore, when calculating the previous assessment of the accuracy of the proposed network and the adopted observation plan, we must use a total station that would meet the required conditions for measuring angles. Therefore, the Leica TS13 can be used for the total station, which enables measurements with higher accuracy than required. The activation sensor based on MEMS technology, which should be used due to its accessibility and simplicity of implementation, is the MBG-200 three-axis MEMS gyroscope - trigger, and the Leica GeoMos - software package will be used for the

Након урађене санације клизишта и завршетка тунела, обрадићемо систем мониторинга датог клизишта.

Обрадиће се следеће теме:

- избор геодетских мрежа, претходна оцена тачности,
- тоталне станице за мерење дужина и углова,
- MEMS акцелерометри (као активациони елемент система праћења) и
- контролни центар за праћење померања клизишта.

Мониторинг је заснован на потреби праћења активног клизишта употребом савремених технологија и сензора заснованих на технологији MEMS – акцелерометара као активационог сензорског елемента. Обрадиће се пројектовањем геодетске мреже посебне намене за праћење клизишта, као и одабиром места за активационе елементе праћења.

Сходно критеријумима, треба одабрати оптимални план опажања, број мерења и инструменте којима ће мерење бити вршено (и за нулту и за остале епохе). Посебно треба водити рачуна о критеријуму економичности радова.

Приликом пројектовања, треба изабрати и инструменте који ће омогућити да се остваре тражене тачности. Самим тим, приликом рачунања претходне оцене тачности предложене мреже и усвојеног плана опажања, за мерење углова морамо користити тоталну станицу која би испуњавала тражене услове. За тоталну станицу може се користити Leica TS13 која омогућава мерења веће тачности од тражених. Активациони сензор на бази MEMS технологије које би требало користити због своје приступачности и једноставности имплементације је МБГ-200 троосни MEMS жироскоп – тригер, а за контролну јединицу користиће се Leica GeoMos – софтверски пакет, који је због своје

control unit, which due to its prevalence and open software configuration is suitable for this type of monitoring. The network and the types of sensors to be used will be covered in more detail below. Two types of markers are used for the network points from which the monitoring will be done, a concrete column with a plate for forced centering and a column of type A1.

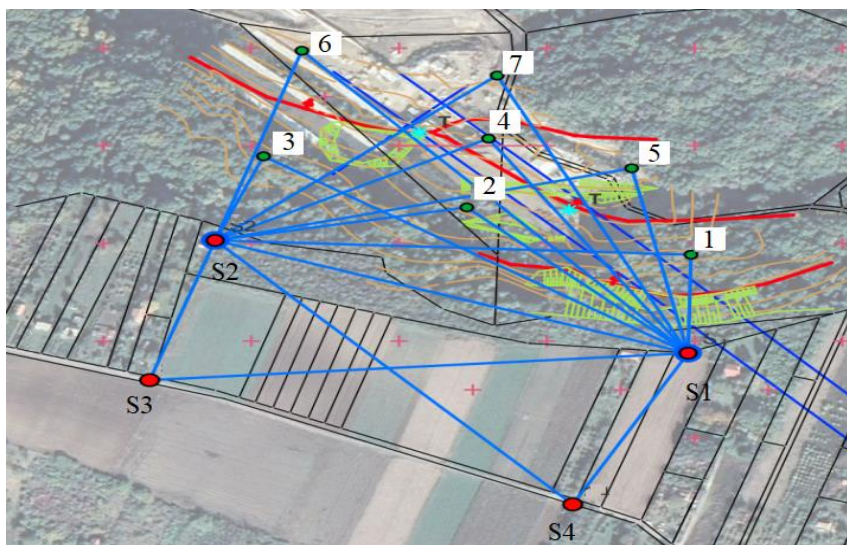
### 3.2. Special purpose geodetic grid

Before starting any works, data related to the given area are collected. Geodetic bases and geological maps of the terrain were obtained from the project for the construction of the tunnel, then a tour of the terrain is carried out in order to select places suitable for placing network points. Due to the lack of a geodetic base on the given terrain, in order to solve the given problem, the design of the local geodetic network for special purposes must be approached first. After the preparatory actions, the optimal appearance of the network is reached (Figure 3). As can be seen in Figure 3, points S1, S2, S3, and S4 show pillars standing on stable ground, blue lines show the directions that can be seen, points T mark the place where activation elements - triggers are placed, while points 1-7 show operating points on the sliding area.

распрострањености и отворене софтверске конфигурације погодан за овај тип мониторинга. Мрежа и типови сензора које треба користити обрадиће се детаљније у наставку. За тачке мреже са које ће се радити мониторинг користе се два типа белега, бетонски стуб са плочицом за принудно центрање и стуб типа А1.

### 3.2. Геодетска мрежа посебне намене

Пре почетка било којих радова врши се прикупљање података везаних за дато подручје. Геодетске подлоге и геолошке карте терена добијене су из пројекта за изградњу тунела, затим се ради обилазак терена ради одабира места погодних за постављање тачака мреже. Због непостојања геодетске основе на датом терену, за решавање задатог проблема мора се приступити прво пројектовању локалне геодетске мреже посебне намене. Након извршених припремних радњи долази се до оптималног изгледа мреже (Слика 3.) Као што се може видети на Слици 3. тачкама S1, S2, S3, S4 су приказани стубови који стоје на стабилном терену, плавим линијама су приказани правци који се догледају, тачкама T означено место где су постављени активациони елементи – тригери, док су тачкама 1-7 приказане радне тачке на клизном подручју.

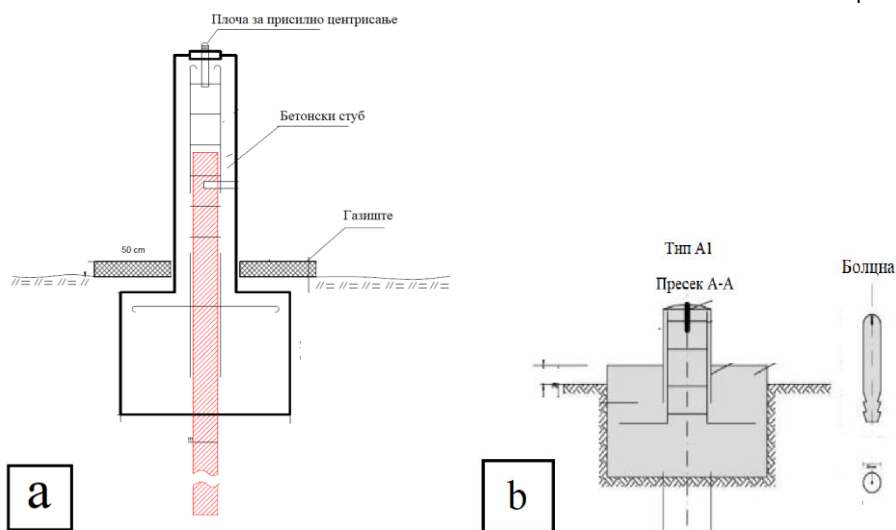


Слика 3. - Графички приказ мреже  
 Figure 3. - Graphical representation of the network  
 Извор/Source: <https://geosrbija.rs>

The choice of the position of the points on the field was conditioned by the field itself, and the directions that can be seen. The terrain is quite covered with vegetation, which limits the perception of grid points. During the actual stabilization of grid points for points S1, S2, S3, S4, the type of markers that provide the highest level of stability should be used, as well as that tiles for forced centering can be placed on them, so that robotic total stations can be placed on them. At points S1, S2 in the network exploitation phase, there will be robotic total stations that will be able to automatically perform measurements in case of landslide activation. For points 1-7, type A1 markings should be used, which represent an excellent compromise between the quality of the network, price and speed of work. Type A1 markers are much easier to stabilize than concrete columns, but due to the need to center the instruments on them, they carry a centering error that reduces the quality of measurements from such points. During network exploitation, prisms will be placed at points 1-7.

Избор положаја тачака на терену био је условљен самим тереном, и правцима који се могу догледати. Терен је поприлично покривен вегетацијом што ограничава опажање тачака мреже. Приликом саме стабилизације тачака мреже за тачке S1, S2, S3 и S4 треба користити тип белега које омогућавају највећи ниво стабилности, као и да се на њих могу поставити плочице за присилно центрисање, да би се на исте могле поставити роботизоване тоталне станице. На тачкама S1 и S2 у фази експлоатације мреже налазиће се роботизоване тоталне станице које ће у случају активације клизишта моћи аутоматски да врше мерења. За тачке 1-7 треба користити белеге типа A1 које представљају одличан компромис између квалитета мреже, цене и брзине радова. Белеге типа A1 су много лакше за стабилизацију од бетонских стубова, али због потребе центрисања инструмената на њима носе грешку центрисања која смањује квалитет мерења са таквих тачака.

Приликом експлоатације мреже на тачкама 1-7 биће постављане призме.



Слика 4. а) Бетонски стуб са плочицом за принудно центрисање б) Стуб типа А1  
Figure 4.a) Concrete pillar with plate for forced centering b) Type A1 pillar

Табела 1. - Приближне координате  
Table 1. - Approximate coordinates

Број тачке	Y [m]	X [m]
S1(101)	7423095,65	5002587,62
S2(102)	7422775,58	5002703,12
S3(103)	7422731,29	5002559,97
S4(104)	7423017,59	5002432,72
1	7423097,61	5002688,44
2	7422945,90	5002736,89
3	7422808,37	5002789,25
4	7422960,58	5002807,36
5	7423057,48	5002777,02
6	7422834,31	5002897,41
7	7422966,45	5002871,96

In Figure 4. a), there is a picture of a concrete column with a plate for forced centering that meets the required requirements of this project for points S1, S2, S3, and S4, in Figure 4. b), A1 type mark is shown which should be used for points 1-7.

На Слици 4. а), налази се слика бетонског стуба са плочицом за принудно центрисање који задовољава тражене захтеве овог пројекта за тачке S1, S2, S3, S4, на Слици 4. – б, је приказана белега типа А1 која треба да се користи за тачке 1-7.

For the purposes of monitoring, an observation plan for the epoch zero and control epochs must be made, but before that, we must define the approximate coordinates of the network points (Table 1)

### **Defect of a geodetic network**

Defect of a geodetic network ( $d$ ) is the minimum number of parameters required to define the network by position, that is, to define the coordinate system in which the grid is located. The number of parameters needed to define the grid per position depends on the type of measured quantities. Therefore, the grid type in this case is a 2D grid, and the measured quantities are angles and lengths, resulting in a network defect of  $d=3$ .

### **Geodetic grid datum**

When defining a datum of the network in this project proposal, as stated previously, there is no geodetic basis, and the classic datum will not be used. In the epoch zero, the minimum trace is used at all points - the way of defining the datum that is most often applied in engineering. The datum defined in this way has the least influence on the positional accuracy of the points in the network. With the minimal trace, there are no constants, that is, there are no given points. The advantage of the minimum trace is that the coordinate origin is located at the center of gravity of the network, and errors propagate further from the center of gravity according to the Gaussian Error Propagation Law. In the control epochs, the minimal trace over the part of the network is used, which is used most often in the deformation analysis. The minimum trace is made over that part of the points that were previously determined to be stable, which in this project proposal are points S1, S2, S3,

За потребе мониторинга морају се урадити план опажача за нулту и контролне епохе, а пре тога дефинисати приближне координате тачака мреже (Табела 1).

### **Дефект мреже**

Дефект мреже ( $d$ ) је минималан број параметара потребних да се мрежа дефинише по положају, односно, да се дефинише координатни систем у коме се мрежа налази. Број параметара потребних за дефинисање мреже по положају зависи од врсте мерених величина. Тип мреже у овом случају је 2D мрежа, а мерене величине су углови и дужине, што доводи до тога да је дефект мреже  $d=3$ .

### **Датум геодетске мреже**

Код дефинисања датума мреже у овом предлогу пројекта, као што је претходно констатовано, не постоји геодетска основа и класичан датум се неће користити. У нултој епохи користи се минималан траг на свим тачкама – начин дефинисања датума који се у инжењерству најчешће примењује. Овако дефинисан датум има најмањи утицај на положајну тачност тачака у мрежи. Код минималног трага нема константи, односно, нема датих тачака. Предност минималног трага је што се координатни почетак налази у тежишту мреже, а грешке се даље шире из тежишта сходно Гаусовом закону преноса грешака. У контролним епохама користи се минималан траг на делу мреже, који се користи најчешће у деформационој анализи. Минималан траг се ради на оном делу тачака за које је претходно утврђено да су стабилне, што су у овом предлогу пројекта тачке S1, S2, S3 и S4. Важе исти услови као и за

and S4. The same conditions apply as for the minimum trace on all points, with the difference that the conditions apply to a part of the points that define the date.

### Design optimization

In the first-order design optimization, for the known accuracy of planned measurements defined in the form of the weight matrix  $P$  and for the defined accuracy of unknown parameters, it is necessary to determine the optimal design, that is, the optimal measurement plan in the geodetic network. And in order to find the optimal design, various optimization methods are applied: LSM, methods of linear and non-linear mathematical programming, dynamic programming, gradient method, etc. Optimizing the design determines, the optimal point positions of the geodetic network and the optimal measurement plan in it are determined [11]. These estimates are based on LSM and mathematical models of direct adjustment. On the basis of these mathematical models, design optimization problems are solved within the previous analysis of accuracy and reliability of geodetic grids. Unlike other methods, the previous analysis has its broadest application in the design of geodetic networks, because it is based on well-known mathematical models and on well-developed computer support [11].

### Java 3D Graticule (JAG3D)

A software solution based on the JAG3D software package Java 3D Graticule (JAG3D) can be used during the previous accuracy estimation. It is an open-source program for leveling geodetic networks and deformation analysis. It has a simple interface and is easy to use. it allows determination of 1D, 2D, and 3D

минималан траг на свим тачкама, са разликом да се услови односе на део тачака којима се дефинише датум.

### Оптимизација дизајна

У оптимизацији дизајна првог реда, за познату тачност планираних мерења дефинисану у облику матрице тежина  $P$  и за дефинисану тачност непознатих параметара неопходно је одредити оптимални дизајн односно, оптимални план мерења у геодетској мрежи. У циљу изналажења оптималног дизајна примењују се различите методе оптимизације: МНК, методе линеарног и нелинеарног математичког програмирања, динамичко програмирање, градијентни метод итд. Оптимизацијом дизајна одређују се оптималне позиције тачака геодетске мреже и оптимални план мерења у њој [11]. Ове оцене засноване су на МНК и математичким моделима посредног изравнања. На основу ових математичких модела решавају се проблеми оптимизације дизајна у оквиру претходне анализе тачности и поузданости геодетских мрежа. За разлику од других метода, претходна анализа има најширу примену у пројектовању геодетских мрежа, јер се заснива на добро познатим математичким моделима и на добро развијеној рачунарској подршци [11].

### Java 3D Graticule (JAG3D)

Приликом претходне оцене тачности може се користити софтверско решење на бази JAG3D софтверског пакета Java 3D Graticule (JAG3D). Он је open-source програм за изравнање геодетских мрежа и деформациону анализу. Има једноставан интерфејс и једноставан је за употребу. У њему



coordinates, orientation and scale of the networks, accuracy and reliability of the networks, coefficient of refraction, etc. [12]. The leveling is done according to the classic GMM of LSM, it is possible to form a functional and stochastic model for the purpose of leveling and the a-priori estimation of accuracy and reliability [13].

### 3.3. Zero epoch observation plan

After the selected layout of the grid, a plan for observing points in the zero and control epochs is made. In the zero epoch, the stations from which observations will be made are as follows: S1, S2, from which all grid points will be observed, from points S2, S3, only points numbered S will be observed, and from points 1-7, points S1 will be observed, S2. During observations, the total station in the zero epoch is placed on all points of the polygon and observations are made, as we stated in the previous part of the text, and on that occasion, there will be prisms placed on the observed points of the polygon.

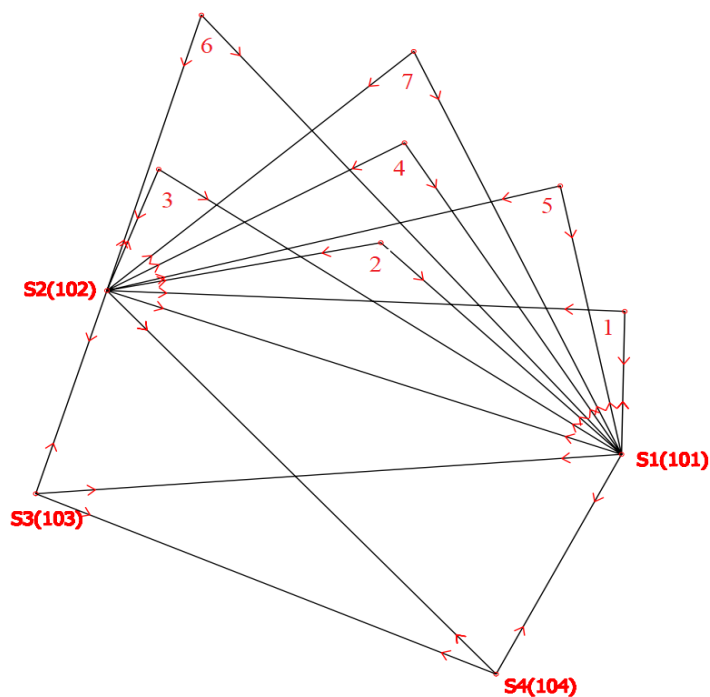
је могуће одредити: 1D, 2D и 3D координате, оријентацију и размеру мрежа, тачност и поузданост мрежа, коефицијент рефракције итд. [12]. Изравнавање се врши према класичном ГММ МНК тј, могуће је формирање функционалног и стохастичког модела ради изравнања и претходне оцене тачности и поузданости [13].

### 3.3. План опажања нулта епоха

Након изабраног изгледа мреже, ради се план опажања тачака у нултој и контролним епохама. У нултој епохи станице са којих ће се вршити опажање су следеће: са S1 и S2, са којих ће бити опажане све тачке мреже, са тачака S2 и S3, биће опажане само тачке са нумерацијом S, а са тачака 1-7 биће опажане тачке S1 и S2. Приликом опажања, тотална станица у нултој епохи поставља се на све тачке полигона и ради се опажања, као што смо навели у претходном делу текста и том приликом на опажаним тачкама полигона налазиће се постављене призме.

Табела 2. – Стандардно одступање координата и положаја тачака – нулта епоха  
Table 2. – Standard deviation of coordinates and position of points – zero epoch

Број тачке	$\sigma_y$ [mm]	$\sigma_x$ [mm]	$\sigma_p$ [mm]
S1(101)	0,5	0,6	0,8
S2(102)	0,5	0,6	0,7
S3(103)	0,8	1,1	1,4
S4(104)	0,9	1,1	1,4
1	0,8	1,2	1,4
2	1,2	0,9	1,5
3	0,9	1,1	1,5
4	1,3	1,1	1,7
5	1,2	1,2	1,7
6	1,3	1,2	1,8
7	1,4	1,2	1,9



Слика 5. - План опажања - нулта епоха  
 Figure 5. - Observation plan - zero epoch

During these works, it is necessary to provide at least one total station and two prisms. When performing the a-priori accuracy estimation, the datum of the geodetic network was determined by the minimum trace at all points. After the a-priori estimation of accuracy and checking of the observation plan in Figure 5 we have shown a graphical observation plan for epoch zero. Coordinate standards from the a-priori accuracy estimation (Table 2) range within intervals:

- $\sigma_Y \in [0,5 \text{ mm} - 1,4 \text{ mm}]$
- $\sigma_X \in [0,6 \text{ mm} - 1,2 \text{ mm}]$ .

According to the obtained results, it can be seen that the achieved accuracy is higher than required by the project task. The elements of the absolute error ellipses are shown in Table 3, while Figure 6 shows graphically the error ellipses for the epoch zero.

Приликом ових радова потребно је обезбедити минимум једну тоталну станицу и две призме. Приликом рачунања претходне оцене тачности датум геодетске мреже одређен је минималним трагом на свим тачкама. Након одрађене претходне оцене тачности и провере плана опажања на Слици 5 је приказан графички план опажања за нулту епоху. Стандарди координата из претходне оцене тачности (Табела 2) крећу се у интервалима:

- $\sigma_Y \in [0,5 \text{ mm} - 1,4 \text{ mm}]$
- $\sigma_X \in [0,6 \text{ mm} - 1,2 \text{ mm}]$ .

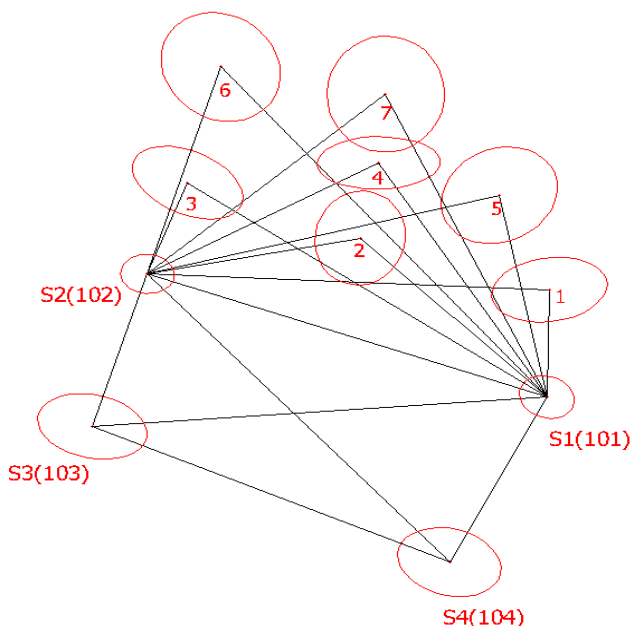
Према добијеним резултатима може се видети да је постигнута тачност већа од оне тражене пројектним задатком. Елементи апсолутних елипси грешака приказане су у Табели 3, док су на Слици 6 приказане графички елипсе грешака за нулту епоху.

### 3.4. Observation plan of the control epoch

In the controlled epochs, surveying in the network is done as follows: from points S1 and S2, all other points of the network are observed, and at those points there will be total stations that are forcibly centered over the points S1 and S2, and at the other points there will be prisms. On both pillars there are stations set to work in "real time" mode for the duration of the monitoring. When the accelerometer triggers an alarm, they are activated and take measurements in control epochs. When performing the a-priori accuracy estimation, the datum of the geodetic network was determined by the minimum trace on part of the points. After the previous assessment of accuracy and checking of the observation plan in Figure 7, we have a graphic observation plan for the control epochs.

### 3.4. План опажања контролне епохе

У контролоним епохама снимање у мрежи ради се на следећи начин: са тачака S1 и S2 врши се опажање свих осталих тачака мреже и на тим тачкама биће тоталне станице које су принудно центрисане на тачкама S1 и S2, а на осталим тачкама налазиће се призме. На оба стуба стоје станице подешене да раде у режиму „real time“ све време трајања мониторинга. Када акцелерометар активира аларм, оне се активирају и изврше мерења у контролних епохи. Приликом рачунања претходне оцене тачности, датум геодетске мреже одређен је минималним трагом на делу тачака. Након извршене претходне оцене тачности и провере плана опажања, на Слици 7 имамо план приказан графички опажања за контролне епохе.



Слика 6. – Елипсе грешака – нулта епоха  
Figure 6. – Error ellipses – zero epoch

Табела 3.- Елементи апсолутних елипси грешака – нулта епоха  
 Table 3.- Elements of absolute error ellipses - zero epoch

Број тачке	A [mm]	B [mm]	$\theta$ [°]	[']	["]
S1(101)	1,5	1,2	30	19	51
S2(102)	1,4	1,2	5	38	12
S3(103)	2,9	1,9	15	40	29
S4(104)	2,7	2,0	20	44	40
1	3,0	1,9	170	53	11
2	2,8	2,3	97	02	21
3	3,1	1,8	29	54	43
4	3,2	2,7	89	53	11
5	3,2	2,7	139	55	36
6	3,4	2,9	58	36	46
7	3,5	3,0	91	15	11

Табела 4. – Стандардно одступање координата и положаја тачака – контролна епоха

Table 4. - Standard deviation of coordinates and position of points - control epoch

Број тачке	$\sigma_y$ [mm]	$\sigma_x$ [mm]	$\sigma_r$ [mm]
S1(101)	0,7	0,9	1,2
S2(102)	0,7	0,9	1,1
S3(103)	1,2	1,0	1,6
S4(104)	1,1	1,2	1,6
1	1,2	2,0	2,3
2	1,8	1,6	2,3
3	1,4	1,9	2,3
4	1,9	1,8	2,7
5	1,8	2,0	2,7
6	2,1	2,1	3,0
7	2,2	12,0	3,0

The coordinate standards from the a-priori accuracy estimation (Table 4) range in intervals:

- $\sigma_y \in [0,7 \text{ mm} - 2,2 \text{ mm}]$
- $\sigma_x \in [0,9 \text{ mm} - 2,0 \text{ mm}]$ .

According to the obtained results, we can see that the achieved accuracy is higher than the required one.

The elements of the absolute error ellipses are shown in Table 5, while in Figure 8. shown graphically error ellipses for epoch zero.

After the a-priori accuracy analysis for the zero and control epochs, it can be concluded that the required network design meets the required accuracy

Стандарди координата из претходне оцене тачности (Табела 4) крећу се у интервалима:

- $\sigma_y \in [0,7 \text{ mm} - 2,2 \text{ mm}]$
- $\sigma_x \in [0,9 \text{ mm} - 2,0 \text{ mm}]$ .

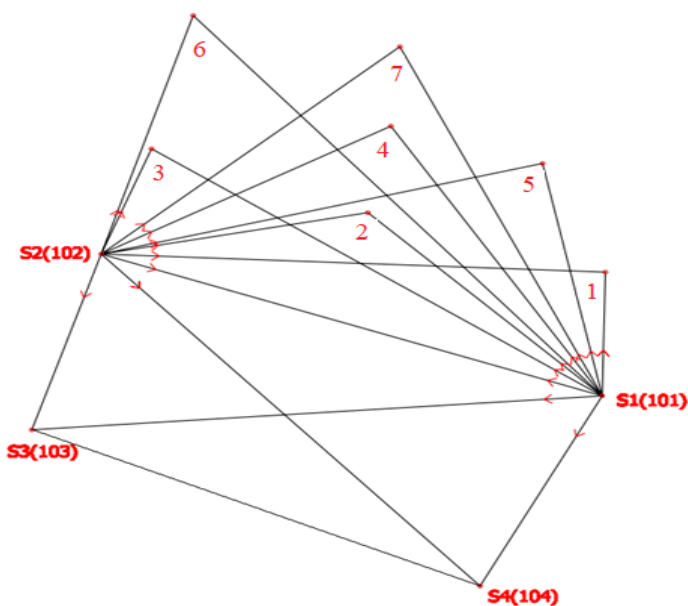
Из добијених резултата може се видети да је постигнута тачност већа од тражене.

Елементи апсолутних елипси грешака приказане су у Табели 5, док су на Слици 8 приказане графички елипсе грешака за контролне епохе.

Након завршене претходне анализе тачности за нулту и контролну епоху, може се констатовати да тражени дизајн мреже задовољава тражене

conditions and we can stabilize it in the field.

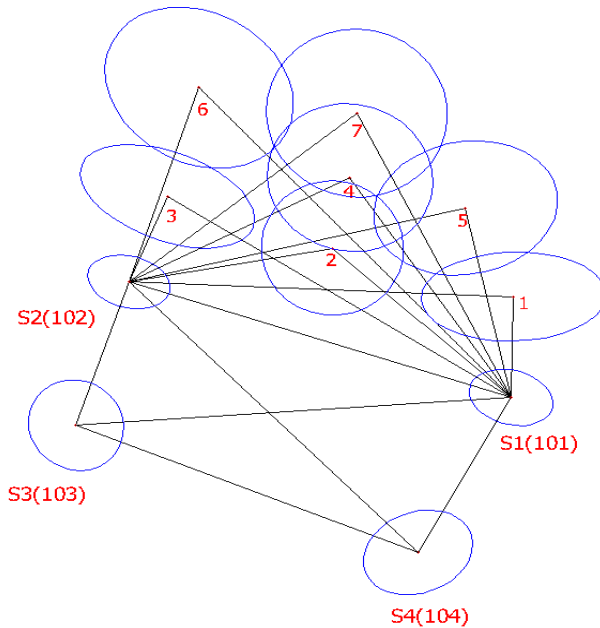
услове точности и да је можемо стабилизувати на терену.



Слика 7. - План опажања - контролна епоха  
Figure 7. - Observation plan - control epoch

Табела 5.- Елементи апсолутних елипси грешака – контролна епоха  
Table 5.- Elements of absolute error ellipses - control epoch

Broj tacke	A [mm]	B [mm]	$\theta$ [°]	[']	["]
S1(101)	2,325	1,702	22	02	44
S2(102)	2,280	1,634	21	10	54
S3(103)	2,926	2,534	76	13	53
S4(104)	3,111	2,510	146	59	18
1	4,963	2,855	178	43	22
2	4,304	3,808	88	00	53
3	5,021	2,768	26	30	27
4	4,773	4,394	72	14	26
5	5,014	4,199	160	11	14
6	5,624	4,527	48	45	53
7	5,392	4,843	84	59	43



Слика 8. – Елипсе грешака – контролна епоха  
 Figure 8. – Error ellipses – control epoch

### 3.5. Application of robotic total station Leica TS13

When working on any monitoring project, it is important to choose the equipment that will enable the required accuracy to be achieved. In the case of this proposed landslide monitoring project in Čortanovci, for the purposes of surveying angles and lengths, a robotic total station should be selected that has the same or better characteristics of the accuracy of measuring horizontal angles and lengths than required. When preparing the report of the a-priori accuracy analysis, the assumption of accuracy of angle measurements was  $\delta\rho ["] = 2"$ , and length measurements with an accuracy better than  $2 \text{ mm} + 2 \text{ ppm}$ , which would mean that the selected total station should have the same or better characteristics than those required for the measurements in network was of satisfactory accuracy. Guided by the required characteristics,

### 3.5. Примена роботизоване тоталне станица Leica TS13

Приликом радова на било каквом пројекту мониторинга, битно је изабрати и опрему која ће омогућити постизање тражене тачности. У случају овог предлога пројекта мониторинга клизишта у Чортановцима, за потребе снимања углова и дужина треба одабрати роботизовану тоталну станицу која има исте или боље карактеристике тачности мерења хоризонталних углова и дужина од тражених. Приликом израде извештаја претходне анализе тачности, претпоставка тачности мерења углова је  $\delta\rho ["] = 2"$ , а мерење дужина са тачношћу већом од  $2 \text{ mm} + 2 \text{ ppm}$ , што би значило да изабрана тотална станица треба да има карактеристике исте или боље од тражених да би мерења у мрежи била задовољавајуће тачности. Водећи се

the proposal for this project is the use of the robotic total station Leica Viva TS 13.

### **3.6. Placement of sensors and a control center**

After implementation and installation of the network in the field, the rest of the monitoring work can be started, which is related to installation of two activation elements - triggers that are used to detect the movement - the initiation of landslides. For this purpose, we use two MBG-200 three-axis MEMS gyroscopes which are able to detect movement in three axes. The sensors should be placed in a metal pipe of a suitable diameter at a depth of one meter in the ground to avoid accidental activation of the sensors. The sensor itself must be calibrated and the appropriate sensitivity parameters of the sensor itself must be entered, due to the close proximity of the railway, test tests should be done to remove unwanted activations due to vibrations from the railway or mechanical damage to the protective tube, so that the device registers only movements that correspond to starting landslides. In addition to calibration, it is also necessary to survey a position of the trigger itself from the monitoring network, so that the exact position of the trigger could be determined. The control unit consists of one computer connected to the triggers and two robotic total stations TS 13. It uses the Leica GeoMos software for monitoring a given landslide, which provides notifications in case of landslide activation, so that the movement of the landslide can be recorded in time from the established network. The control unit itself can be installed directly on the ground near the landslide, or the entire system can be connected via a telecommunications network to send data to another location where the control unit would be located. All system components can be

траженим карактеристикама предлог за овај пројекат јесте употреба роботизоване тоталне станице Leica Viva TS 13.

### **3.6. Постављање сензора и контролног центра**

Након обављене реализације и постављања мреже на терену, може се приступити и остатку радова на мониторингу који се односи на постављање два активациона елемента – тригера који служе за детекцију померања – покретања клизишта. У ову сврху користимо два MBG-200 троосна MEMS жироскопа који су у могућности да детектују померање у три осе. Сензоре треба поставити у металну цев одговарајућег промера на дубини од једног метра у земљу да би се избегла случајна активација сензора. Сам сензор се мора калибрисати и морају се унети одговарајући параметри осетљивости самог сензора. Због непосредне близине пруге треба урадити пробне тестове да би се уклониле нежељене активације услед вибрација од стране пруге или механичких оштећења на заштитној цеви, да би уређај регистровао само померања која одговарају покретању клизишта. Поред калибрације, потребно је и снимити положај самог тригера са мреже за праћење, да се могла одредити тачна позиција тригера. Контролну јединицу чини један рачунар повезан са тригерима и две роботизоване тоталне станице TS 13. Он користи Leica GeoMos софтвер за праћење датог клизишта који даје обавештења у случају активације клизишта, да би благовремено са постављене мреже било снимљено померање клизишта. Сама контролна јединица може се инсталирати директно на терену у близини клизишта или цео систем повезати путем телекомуникационе мреже да податке шаље на неку другу

connected to the control unit in two ways, wired or wireless.

#### 4. CONCLUSION

During the preparation of the proposal for the monitoring project on the tunnel in Čortanovci, a simple set of systems for monitoring landslides was proposed, as well as a proposal for the layout of the network from which the monitoring would be carried out during operation by choosing the optimal layout of the network and the observation plan, as well as the selection of appropriate equipment for work, the required level of measurement accuracy for landslide monitoring was achieved. The characteristic of every good monitoring project is an excellent balance between the costs of work and the accuracy that should be achieved, in order to fulfill all the conditions set by the project with as few points, measurements and sensors as possible. The main parts that affect the project are the network from which the monitoring is done and the sensors that are used. When choosing the shape of the network, the observation plan and calculating the previous accuracy rating of the network, it can be seen that the proposed network shape, the observation plan and the given accuracy parameters of the instrument with which the measurements are made, enable measurements that meet the required criteria in this project proposal with their accuracy. As can be seen from the results, the expected measurement accuracies are better than the required ones. If instruments with not fulfilled required characteristics are used, in this project proposal we may end up in a situation where despite a good observation plan, the measurements in the network will not be within the limits of the required accuracies. We can check

локацију на којој би се налазила контролна јединица. Све компоненте система можемо са контролном јединицом повезати на два начина, жичаним путем, или преко бежичне везе.

#### 4. ЗАКЉУЧАК

Приликом израде предлога пројекта мониторинга на тунелу у Чортановцима, предложен је један једноставан скуп система за праћење клизишта, као и предлог изгледа мреже са које би се радио мониторинг и у самом раду избором оптималног изгледа мреже и плана опажања, као и избором одговарајуће опреме за рад, постигнут је тражени степен тачности мерења за мониторинг клизишта. Одлика сваког доброг пројекта мониторинга јесте одличан баланс између трошкова рада и тачности која треба да се постигне, да би се са што мање тачака, мерења и сензора испунили сви пројектом задати услови. Главни делови који утичу на пројекат јесу мрежа са које се врши мониторинг и сензори који се користе. Приликом одабира облика мреже, плана опажања и рачунања претходне оцене тачности мреже, види се да предложен облик мреже, план опажања и задати параметри тачности инструмента са којима се врше мерења, омогућавају мерења која својом тачношћу задовољавају тражене критеријуме у овом предлогу пројекта. Као што се из резултата може видети, очекиване тачности мерења су боље од тражених. Ако би се користили инструменти који не одговарају траженим карактеристикама, можемо доћи у ситуацију да, и поред доброг плана опажања, мерења у мрежи не буду у границама тражених тачности. Све ово можемо проверити претходном оценом тачности пре материјализације мреже на терену. Као што се може видети, развој



all this with a a-priori estimation of the accuracy before materializing the network in the field. As can be seen, the development of technologies in the field of monitoring has made it possible to carry out work with increasing accuracy, and at the same time much faster and easier than in the past, opening up a lot of opportunities for even greater progress. Since the processing power of measuring devices and sensors is constantly increasing, and new production processes enable lighter, smaller and more powerful sensors with an increasing degree of automation, a decreasing number of people will be needed in geodesy, but with increasing knowledge in the field of sensors, robotics, programming and designing entire recording and monitoring systems. The aforementioned landslide monitoring project proposal in the future can be done with a smaller number of points, with greater accuracy, while spending less time in the field, thus the costs of creating such monitoring systems will be lower, which will make such and similar systems as possible more, all with the aim of increasing the safety of citizens from the danger of landslide activation and ground movement that can cause damage to objects of interest, in this case movement or damage to the high-speed railway, which could endanger the lives of passengers.

технолозија у области мониторинга омогућио је да се радови могу обављати са све већом тачношћу, а притом доста брже и лакше, него у прошлости, отварајући бројне могућности за још већи напредак. Пошто се процесорска снага мерних уређаја и сензора стално повећава, а нови производни процеси омогућавају све лакше, мање и моћније сензоре са све већим степеном аутоматизације, у геодезији ће бити потребан све мањи број људи, али са све већим знањем из области сензора, роботике, програмирања и пројектовања целих система за снимање и мониторинг. Наведени предлог пројекта мониторинга клизишта у будућности биће могуће урадити са мањим бројем тачака, са већом тачношћу, а притом провести мање времена на терену. Самим тим, трошкови израде оваквих система мониторинга ће бити све мањи, што ће учинити да оваквих и сличних система буде што више, а све у циљу повећања сигурности грађана од опасности активације клизишта и померања тла које може изазвати оштећења на објектима од интереса, у овом случају померања или оштећења брзе пруге, због којих животи путника могу бити угрожени.

## REFERENCES

- [1] Begović, A., Gospavić, Z., *Inženjerska geodezija 1*. Građevinski fakultet Univerziteta u Beogradu, Beograd, 2016.
- [2] Milovanović, B., *Designing the control network for hydrotechnical objects for the purpose of geodetic monitoring*, International symposium on engineering geodesy SIG 2016 – Proceedings, Varaždin, 2016.
- [3] Eteje, S. O.: *Detailed Geodetic Technique Procedures for Structural Deformation Monitoring and Analysis*. International Journal of Scientific and Technological Research, 6(7), 7-23. doi:10.7176/JSTR/6-07-02, 2020.
- [4] Stupar, D.I.; Ogrizović, V.; Rošer, J.; Vižintin, G. *Analytical and Numerical Solution for Better Positioning in Mines with Potential Extending Application in Space Mining*, Minerals, 12(5). doi: 10.3390/min120506402022.

- [5] AbdAllah, A.A.G., Wang, Z. Optimizing the geodetic networks based on the distances between the net points and the project border. *Scientific Reports* 12, 647, doi: 10.1038/s41598-021-04566-0, 2022.
- [6] Batilović M., Identifikacija pomeranja primenom različitih metoda deformacione analize, Master rad, Fakultet tehničkih nauka, Novi Sad 2015.
- [7] Kannan, A.: Design and modeling of a MEMS-based accelerometer with pull in analysis, University of British Columbia, 2008.
- [8] MacKinnon, T., Murphy, J.: Introduction & Simple Guide to Using the Leica Total Station. <https://tmackinnon.com/2005/PDF/Total-Station-basics--Introduction-to-Using-the-Leica-Total-Station.pdf>, accessed: 10.12.2022.
- [9] Ašanin, S., Božić, B.: Dinamičko praćanje deformacionih struktura u realnom vremenu, *Vodopriveda* 36 (2004) 211-212, pp. 377-384, 2004.
- [10] Leica Geosystems AG, Structural Monitoring. Leica GeoMoS. Leica Geosystems AG, Heerbrugg, Switzerland, 2017.
- [11] Giulivo I, Galluccio F, Matano F, Monti L, Terranova C. Landslide risk and mitigation policies in Campania region (Italy). *Proceedings of the Second World Landslide Forum*; Rome (Italy): Springer Berlin Heidelberg; p. 209–216. 2013.
- [12] Scantaxi. Project Adjustment Helper User Manual. Scantaxi UG, 2017.
- [13] Fotiou, A. A discussion on Least Squares Adjustment with Worked Examples. *Quod Erat Demonstrandum-In quest of the ultimate geodetic insight*. pp. 77-99. 2018.
- [14] Li, Guanqing and Huang, Shengxiang. "Control survey for a 6.7 km immersed tunnel in Chinese Lingding ocean" *Journal of Applied Geodesy*, vol. 13, no. 3, pp. 257-265. doi: 10.1515/jag-2018-0023, 2019.
- [15] Nedelkovski, D.: What is MEMS? Accelerometer, Gyroscope & Magnetometer with Arduino, <https://howtomechatronics.com/how-it-works/electrical-engineering/mems-accelerometer-gyroscope-magnetometer-arduino/>, accessed 10.12.2022.