

**РЕАЛИЗАЦИЈА ГЕОДЕТСКОГ СНИМАЊА КОНВЕРГЕНЦИЈЕ У ТУНЕЛУ  
“ЧОРТАНОВЦИ”****GEODETTIC SURVEY OF CONVERGENCE OF THE TUNELL “ЉORTANOVCI”**

Стефан Поповић, Факултет техничких наука, Нови Сад

**Област – ГЕОДЕЗИЈА И ГЕОМАТИКА**

**Кратак садржај** – У овом раду је представљен начин геодетског снимања конвергенције примарне и секундарне облоге у току изградње тунела “Чортановци”. Као и резултати снимања по фазама изградње (ископа). У раду су представљени и основни подаци о жељезничком тунелу “Чортановци”, као и методама грађења тунела, снимању конвергенције, геодетским радовима и проблемима при извођењу истих у склопу реализације геодетског снимања конвергенције у тунелу “Чортановци”.

**Кључне ријечи:** геодетско снимање конвергенције, геодетска мрежа, мјерни профил, мјерна тачка.

**Abstract** – This paper presents the method of geodetic surveying of the convergence of the primary and secondary lining during the construction of the “Љortanovci” tunnel. As well as the surveying results by stages of construction (excavation). The paper also presents the basic data about “Љortanovci” railway tunnel, as well as the methods of tunnel construction, convergence surveying, geodetic works and problems in performing them as part of the realization of the geodetic convergence surveying in the “Љortanovci” tunnel.

**Keywords:** geodetic surveying of convergence, geodetic network, surveying profile, surveying mark.

**1. УВОД**

Конструкција објеката подземне инфраструктуре је један од најсложенијих задатака за извођење, са аспекта безбједности, потом и реализације пројектног задатка. Приликом изградње тунела, неопходно је пратити понашање примарне и секундарне облоге као и стијенске масе.

Конвергенција је радијално помјерање контуре основне или секундарне облоге. До ње се долази мјерењем промјене растојања двије или више тачака на контури тунела (на примарној или секундарној облози) [1].

Циљ овог рада јесте приказ и анализа пројекта геодетског снимања конвергенције тунела “Чортановци”. На

**НАПОМЕНА:**

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

основу мјерења извршених у току изградње тунела и приказа резултата геодетског снимања конвергенције тунела “Чортановци” можемо открити понашање примарне и секундарне подграде (облоге) у свим фазама изградње тунела “Чортановци”.

**2. ТУНЕЛИ**

Тунели су подземни грађевински објекти испод површине терена који обезбјеђују простор за различите намјене, са једним или са оба краја излазе на површину терена [2].

**2.1. Подјела и врсте тунела**

Према намјени, групе тунела могу бити:

а) *Тунели за потребе саобраћаја:*

1. Тунели за жељезнички саобраћај,
2. Тунели за друмски саобраћај,
3. Тунели на пловним каналима,
4. Тунели за градске жељезнице, метро линије,
5. Тунели за пролазак пјешака

б) *Хидротехнички тунели*

с) *Подземне конструкције за специјалне сврхе*

Према дубини грађења, тунеле дијелимо на: *плитко положене и дубоко положене.*

Према дужини тунели се дијеле на три групе:

1) *Прва група (кратки тунели) у њу спадају:*

- а) врло кратки тунели до 50м дужине
- б) кратки тунели од 50-100 м дужине,

2) *Друга група средњих тунела и у њу спадају тунели средњих дужина од 500-2200 м дужине*

3) *Трећа група:*

- а) дугачки тунели од 2200-4000 м,
- б) врло дугачки тунели, преко 4000 м дужине [2].

**2.2. Начин изградње тунела**

Методе изградње подземних објеката, као један од најтежих подухвата са аспекта сигурности и извршавања пројектног задатка, развијале су се развојем технологија. Развојем сложених машина (ТБМ, Ма-

шине за бушење, оплате...), металних конструкција, бетона, торкрета, геодетске, геотехничке опреме итд...

Одабир начина изградње тунела, зависи од више фактора. Инжењерско-геолошки састав терена има највише утицаја на методу за изградњу тунела.

Грађење тунела на копну можемо подјелити у три примарне групе:

- 1) Минирањем - лаки услови ископа
  - 2) ТБМ - примјена откопних тунелских машина у пуном профилу (средње тешки услови ископа)
  - 3) Примјеном отвореног и затвореног штита и монтажне подградне конструкције - веома тешки услови ископа
- НАТМ (*New Austrian Tunnelling Method*) - Нова аустријска тунелска метода.

У овој методи ископ се врши са чела, са различитим видовима осигурања копане структуре. Карактерише је ископ у три фазе. **Прва фаза** – ископ калоте, **друга фаза** – ископ средњег дијела, **трећа фаза** – ископ подножног свода.

### 3. ТУНЕЛ “ЧОРТАНОВЦИ”

Тунел “Чортановци” је пројектован и изграђен у оквиру главног пројекта реконструкције, модернизације и изградње двоколосјечне пруге Београд - Стара Пазова - Нови Сад - Суботица - државна граница. Састоји се од двије тунелске цијеви. Дужина десне тунелске цијеви је 1086,50 m, а дужина лијеве тунелске цијеви 1156,00 m. Осовинско растојање цијеви је од 22,00 m до 18,00 m. Пројектована брзина на прузи у тунелу је 200 km/h [3].

Тунел “Чортановци” у односу на инжењерско-геолошки састав земљишта спада у групу доста тешких тунела за грађење. Налази се на обронцима планине Фрушка Гора, а у непосредној близини ријеке Дунав. Стијенске масе су меке и пластичне, пијесак прожет водом, распаднути и графитички шкриљци са водом, муљевито тло и глиновите насlage. С обзиром на наведене околности, изабрана метода изградње тунела је нова аустријска метода (*NATM – New Austrian Tunnelling Method*).

### 4. ПРОЈЕКАТ ГЕОДЕТСКЕ МРЕЖЕ ТУНЕЛА “ЧОРТАНОВЦИ”

За потребе главног пројекта реконструкције, модернизације и изградње двоколосјечне пруге Београд - Стара Пазова - Нови Сад - Суботица - државна граница, успостављена је геодетска мрежа са које се врши снимање, геодетско обележавање и други геодетски радови - технички радови. Основни оперативни полигон (ООП) се састоји од тачака државне тригонометријске мреже, што је омогућило датумску трансформацију резултата ГПС мјерења и прорачуна у важећи државни референтни систем и омогућило контролу над одређивањем параметара трансформа-

ције на подручју које покрива оперативни полигон објекта.

Репери државне нивелманске мреже и висине тачака основног оперативног полигона омогућили су датумску дефиницију геодетске мреже по висини.

#### 4.1. Оперативни полигон

Оперативни полигон је реализован у оквиру основног оперативног полигона. С обзиром на то да ће оперативни полигон служити као геодетска основа са које ће се снимати и обележавати детаљи, било је потребно користити тачке основног оперативног полигона, односно тачке државне тригонометријске мреже и репере државне нивелманске мреже, у процесу њеног успостављања.

Имајући у виду намјену геодетске подлоге, конфигурацију терена, карактеристике објекта и предвиђене методе снимања и обележавања, било је потребно реализовати оперативни полигон који испуњава следеће критеријуме:

- *оперативни полигон је дугачак око 18 км,*
- *просјечна удаљеност између тачака оперативног полигона је око 300 м,*
- *тачке оперативног полигона омогућавају примјену метода ГПС обележавања, као и обележавање класичним терестричним методама,*
- *хоризонталне позиције и висине оперативних полигонских тачака су изражене у оквиру важећег државног координатног система.*

#### 4.2. Геодетска мрежа објекта

Геодетска мрежа објекта састоји се од надземне и подземне геодетске мреже, која мора обезбиједити пробој кроз тунел у дозвољеним границама, као и омогућити сва геодетска обилежавања и снимања у дозвољеним границама. Надземна мрежа је направљена прије извођења тунелских радова, а према техничким спецификацијама спојена је на тачке оперативног полигона.

Подземна мрежа се формира сукцесивно (слијепи полигонски влак) како напредује ископ тунела. Тек након што је остварен пробој тунела, обје мреже се изравнавају у исто вријеме.

Геодетска мрежа тунела (ГМТ) је геометријски оквир за: геодетско обилежавање пројектоване геометрије тунела, геодетско осматрање тунела (конвергенцију) и тла у зони тунела, као и за геодетско снимање изведеног стања. Да би се са ГМТ-ом могли извести сви наведени радови, укључујући и осматрање објекта и тла, прорачун тачности се заснива на следећим претпоставкама:

- На основу дефинисаног дозвољеног одступања за обилежавање и мјерење карактеристичних тачака објекта  $\Delta=15\text{mm}$  (2Д),  $\Delta=5\text{mm}$  (1Д) и са вјероватноћом од 95% произилази да је дозвољени стандард положаја  $B_r=2,5\text{mm}$  (2Д) и  $B_x=1\text{mm}$  (1Д)
- правци се мјере инструментом са мјерном несигурношћу од  $\pm 3''$

- дужине се мјере електро-оптичким даљиномјером са мјерном несигурношћу од  $\pm 1\text{mm} + 2\text{ppm}$
  - висине се одређују геометријским нивелманом са опремом чија је декларисана тачност нивелања напријед-назад  $1\text{mm}/\sqrt{\text{км}}$
- Из улазних претпоставки, рачунањем тачности из ГМТ Главног пројекта, добијено је да је просјечан стандард положаја и висина тачака  $10,7\text{mm} < \Delta = 15\text{mm}$  (2Д),  $1,4\text{mm} < \Delta = 5\text{mm}$  (1Д), тј. да задовољава тачност дозвољеног одступања за обележавање и мерење карактеристичних тачака објекта, односно геодетског осматрања тунела и терена у зони тунела [3].

## 5. КОНВЕРГЕНЦИЈА У ТУНЕЛУ

Према члану 152 Закона о планирању и изградњи, Републике Србије, обавеза извођача је да „обезбеди мерења и геодетска осматрања тла и понашања објеката у току изградње“. За извођење ових радова потребно је израдити адекватан пројекат.

Пројектом осматрања објекта и тла на подручју објекта дефинисани су геодетски радови и начин њиховог извођења у току изградње објекта са циљем правовременог откривања критичних деформација објеката и тла у зони изградње, првенствено у сврху сигурности радника и изградње објеката.

За израду пројекта геодетског осматрања објекта и тла у зони објекта морају бити дефинисани следећи услови: 1. Контролни профил мјерења (локација, број и распоред мјерних тачака) 2. Динамика мјерења 3. Прорачун тачности геодетског осматрања објекта 4. Статистичка интерпретација резултата мјерења.

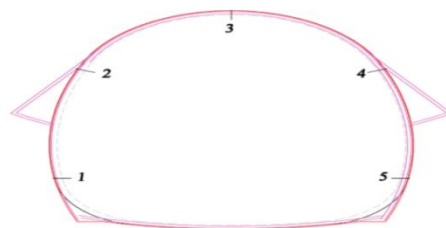
Мјерење конвергенције се састоји у одређивању промјене растојања између више парова репера уграђених на контури тунелског профила и то у стијенску масу, прскани бетон (торкрет), ременату или на тунелску конструкцију. Интерпретација података добијених мјерењем, добијају се величине помјерања према тунелском отвору [2].

Снимање конвергенције најчешће се врши геодетским и геотехничким сензорима (мјерна трака, екстензиометри итд.).

### 5.1. Геодетско снимање конвергенције

Геодетска опрема, којом је могуће снимити конвергенцију у тунелу је тотална станица или теодолит са даљиномјером и ласерски скенер. За наведени објекат у раду коришћена је тотална станица. Мјерени су углови и дужине.

Мјеста уградње мјерних профила зависе од категорије стијенске масе. По потреби могуће је прогушћивање мјерних профила и мјерних тачака. Контролни мјерни профил примарне тунелске конструкције (Слика 1) садржи 5 мјерних тачака позиционираних на граници подземног ископа стабилизаних у примарној облози тунела. Мјерни профил ће бити означен стационажом и бројем, а репери у профилу ће бити означени бројевима, задржавајући исти број за одређену позицију репера у свим профилима



Слика 1. Контролни мјерни профил

Мјерне тачке представљају биорефлектну мету са чије површине се може рефлектовати ласерски сноп геодетског инструмента (тотална станица са ласерским даљиномјером).

Мјерења конвергенције секундарне тунелске облоге изводе се по потреби на мјестима гдје кретање није потпуно заустављено и у материјалима гдје се очекују дуготрајни ефекти због бубрења или растрешености. Мјерења треба вршити до потпуног престанка помјерања - деформација.

### 5.2. Проблеми приликом геодетског снимања конвергенције у тунелу

Најчешћи проблеми приликом извођења геодетских радова у тунелу везани су за смањену видљивост у тунелу. Проблеми приликом стабилизације тачака - честа уништавања тачака од стране извођача радова. Проблеми везани за атмосферске услове, велика разлика у односу на мјерења која се изводе изван тунела, као и промјена тих услова у односу на удаљености од портала. Висок степен честица бетона, метала и издувних гасова насталих приликом рада тешких машина у тунелу, додатно утичу на смањење видљивости и на расипање ласерског снопа код даљиномјера.

Снимање и праћење конвергенције је итеративни поступак који се врши по епохама, гдје се свако ново снимање упоређује са претходном и нултом епохом, због тога велики проблем представља уништавање мјерних тачака гдје се губи могућност упоређивања са претходним епохама.

## 6. РЕЗУЛТАТИ ГЕОДЕТСКОГ СНИМАЊА КОНВЕРГЕНЦИЈЕ

Резултат геодетског снимања конвергенције су координате мјерних тачака које су снимане. Релативна удаљеност парова репера на мјерним профилима и њена промјена дефинише конвергенцију у тунелу. Разликом  $(X, Y)$  координата репера (мјерних тачака), по формули  $D = \sqrt{(Y_1 - Y_2)^2 + (X_1 - X_2)^2}$ . Гдје  $D$  представља растојање између мјерних тачака,  $(X_1, Y_1)$ -координате првог репера у пару и  $(Y_2, X_2)$ -координате другог репера у пару. Промјена у њиховом резултату, смањење растојања ( $D$ ) показује да конвергенција постоји.

Трећа координата ( $h$ ) висина, одређена тригонометријским нивелманом представља висину мјерне тачке,

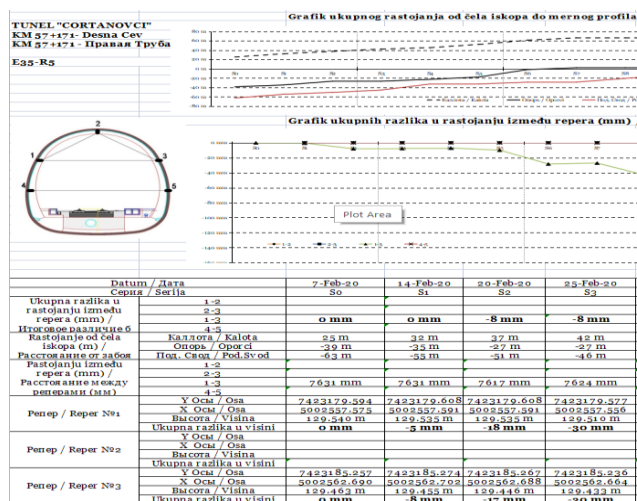
и њена промјена указује на слијегање сегмента конструкције на ком је стабилизована мјерна тачка.

### 6.1. Приказ резултата

Резултати су приказани у формату програма *Excell*. На слици 2, је приказан изглед обрасца за анализу резултата мјерења конвергенције.

Образац се састоји од наслова, гдје видимо да је ријеч о тунелу “Чортановци” као и о којој тунелској цијеви се ради, у овом случају то је десна, број екрана и ременате у екрану и стационажу мјерног профила. Испод наслова се налази диспозиција репера са нумерацијом.

У средњем дијелу обрасца су унешене координате репера, датум снимања, број епохе -серије снимања, приказано на слици.



Слика 2. Примјер унешених података снимка конвергенције

Такође на слици 2, можемо да видимо да се све информације, у виду графика удаљености мјерног профила од чела ископа, график укупних растојања репера, за одређену епоху налазе у истој колони тако да симултано имамо увид у све информације, како би са више аспеката могли да анализирамо конвергенцију и слијегање тунелске конструкције.

### 6.2. Анализа резултата геодетског снимања конвергенције у тунелу “Чортановци”

Анализом резултата можемо да утврдимо, да у тунелу “Чортановци” током изградње, примарна конструкција је “конвергирала” у више наврата. Такође, идентификовано је слијегање на примарној конструкцији.

Анализом је закључено да, у предмету овог рада, конвергенција и слијегање су зависне од удаљености чела ископа до мјерног профила, такође извођење радова у фази 2 ископа (опорци) и ископ подножног свода имају утицаја на конвергенцију и слијегање тј. да удаљеност ископа чини да конструкција тунела “ради”- конвергира.

Такође је примјећена појава да се растојање између репера на појединим мјерним профилима увећало, што је појава супротна конвергенцији, па се може констатовати да је конструкција дивергирала.

## 7. ЗАКЉУЧАК

У раду је представљено снимање и анализа резултата геодетског снимања конвергенције у тунелу “Чортановци” која је праћена од јула, 2018 године до јануара, 2021. године, током изградње тунела. Тунел “Чортановци” као што је наведено у поглављу 3., са аспекта састава земљишта спада у најтежу групу за изградњу.

Као што је очекивано конвергенција у току изградње примарне облоге има знатно веће вриједности него у секундарној облози гдје је снимљена конвергенција занемарљива.

Закључак је да је снимање конвергенције и праћење понашања тунелске конструкције неопходно због, првенствено сигурности, потом и извршавања пројектног задатка. На датом пројекту најрелевантнији подаци о стању и промјени стања геометрије конструкције добијени су из пројекта геодетског снимања конвергенције.

## 8. ЛИТЕРАТУРА

- [1] ЈП Путеви Србије, “Приручник за пројектовање путева у Републици Србији”, Београд, 2012.
- [2] Бранислав Поповић, “Тунели”, Београд, 1986.
- [3] Саобраћајни институт ЦИПД.о.о., “Главни пројекат реконструкције, модернизације и изградње двоколосечне пруге Београд - Стара Пазова - Нови Сад – Суботица – Државна граница”, Књига 16, Пројекат геодетских радова, Београд, 2015.

### Кратка биографија:



**Стефан Поповић** рођен је 1994, у Лозници. Мастер студије на Факултету техничких наука уписао 2018. године.

Контакт:  
steffan33@gmail.com