



Radovan Đurović, University of Montenegro, radovandj@ucg.ac.me
Ivan Mrdak, University of Montenegro, ivanm@ucg.ac.me
Gojko Nikolić, University of Montenegro, gojkorn@ucg.ac.me
Zoran Sušić, University of Novi Sad, zsusic@uns.ac.rs
Marko Marković, University of Novi Sad, marko_m@uns.ac.rs

GEODETTIC WORKS ON THE CONSTRUCTION OF THE MRKE TUNNEL IN THE CONTEXT OF METHOD OF EXECUTION OF WORKS AND GEOMORPHOLOGICAL CONDITIONS

Abstract

In this paper geodetic works during the excavation of tunnels are presented, with specific example of Mrke Tunnel on the highway section Smokovac - Mateševo in Montenegro. All phases of geodetic works have been presented, such as the construction of underground and overground geodetic networks, control of tunnel excavation process, as well as geodetic works on the monitoring of radial deformations during the excavation. The New Austrian Tunnel Method (NATM) has been implemented for the excavation of the Mrke Tunnel, therefore the concept of active geotechnical design was presented and the review of specific geodetic works on surveying and monitoring with reference to its application was provided. The geomorphological conditions of the surveyed structure have also been presented.

Keywords: geodetic network, tunnel excavation, monitoring, New Austrian Tunnel Method

ГЕОДЕТСКИ РАДОВИ НА ИЗГРАДЊИ ТУНЕЛА МРКЕ У КОНТЕКСТУ ТЕХНОЛОГИЈЕ ИЗВОЂЕЊА РАДОВА И ГЕОМОРФОЛОШКИХ УСЛОВА

Сажетак

У овом раду се разматрају геодетски радови при ископу тунела са конкретним примјером тунела Мрке на дионици аутопута Смоковац – Матешево у Црној Гори. Презентован је низ фаза геодетских радова као што су израда подземних и надземних геодетских мрежа, контрола пробоја као и геодетски радови на мониторингу радијалних деформација током ископа. За ископ тунела Мрке је примијењена Нова аустријска тунелска метода (НАТМ) па је у оквиру рада презентован концепт активног геотехничког пројектовања и дат приказ специфичних геодетских радова на осматрању и мониторингу при њеној примјени. Приказани су и геоморфолошки услови посматраног објекта.

Кључне ријечи: геодетска мрежа, пробој тунела, мониторинг, Нова аустријска тунелска метода

1. УВОД

Израдња тунела представља комплексан подухват у коме учествују стручњаци различитих профила. Геодезија, чија је улога у том пројекту од великог значаја, незаобилазна је у свим фазама изградње. За разлику од других грађевинских објеката, тунели садрже низ специфичности, што се посебно односи на опсежне припремне радове и комплексност геодетских радова током пробоја и изградње [6].

Циљ израде пројекта геодетских радова у пробоју тунела је да се уради оптимизација тих радова: геометрије, тачности, грешака, броја и тачности мјерења елементарних величина у мрежи. Пројекат дефинише инструменте, методе, услове тачности и услове рада, којим треба извести мјерења елементарних величина у мрежи изабране геометрије у циљу добијања геодетске мреже одговарајућег квалитета.

Поред контроле осовине ископа тунела у задатим границама толеранције пројекта, веома је важно да се профил тунелске цијеви изведе што тачније, јер свако одступање од идеалног профила доноси додатне трошкове извођачу или инвеститору при извођењу тунела. Тачна и прецизна слика ископа тунелске цијеви служи не само као податак за касније радове у тунелу, већ штеди вријеме и материјал потребан за касније фазе изградње тунела. Сви ови као и многи други геодетски радови у тунелу као што су ископчење портала, израда цијевних штитова, ниша, проширења или тунелских пролаза, изградња вертикалних шахтова итд., зависе прије свега од квалитета геодетске мреже, како надземне тако и подземне.

Посебан аспект извођења тунела из угла интеракције између геодета са осталим инжењерима укљученим у ископ тунела је извођење ископа Новом аустријском тунелском методом (НАТМ). НАТМ је концепт тунелградње којим се активним геотехничким пројектовањем тежи остварити оптималан однос сигурности и економичности. Из тог разлога ископ тунела са НАТМ-ом подразумијева могућност да се дозволи помјерање контуре стијене ископа па је важан аспект ове методе контрола радијалних деформација. Радијалне деформације су главни показатељи стабилности ископа па је улога геодетских инжењера врло важна како би се обезбиједила сигурност људства и опреме током извођења и обезбиједили тунелским инжењерима одговарајући подаци да ли су претпоставке при извођењу биле одговарајуће.

2. ТУНЕЛ МРКЕ

Тунел Мрке се налази на дионици аутопута од Смоковца до Матешева. Предметна дионица је дио Аутопута Бар-Бољаре који је дио путног правца ТЕМ ("Trans European Motorway") кроз Црну Гору. Вишеструко је значајан: повезује не само основни правац ТЕМ-а (од Гдањска до Атине и Истанбула) са Јадранским морем, него представља и дио коридора аутопута Београд – Јужни Јадран преко Трансевропске Магистрале, чији је дио крака, који пружа европску, а преко Луке Бар и медитеранску оријентацију Црне Горе, односно повезује Подунавље са Медитераном. Дионица од Подгорице до Матешева је дужине 42 км, и има 16 двоцијевних тунела и 26 мостова. Укупна дужина тунела укључујући обје цијеви је 35.5 км. Лијеви портал тунела МРКЕ почиње од стационаже ЛК5+150 и завршава на стационажи ЛК5+989. Десни портал тунела почиње од стационаже РК5+142 и завршава на стационажи РК5+946. Тунел је са јужне стране повезан са мостом Горње Мрке а са сјеверне стране се кроз дио пута спаја са мостом Морачица. Седиментне творевине у којима се налази улазни портал тунела Мрке припада ретוליјасу (Т,Ј). По литолошком саставу то су слабодолмитични кречњаци, доломитични кречњаци и кречњаци а појављују се у виду слојева или банака. Седименти Доња јура-лијас (J_1) изграђују знатан дио терена у којима је извршен пробој тунела Мрке. Представљени су фацијом литиотиских кречњака ($J_1^{2,3}$). У наставку трасе и излазног портала тунела, у зони Ждрвња, су терени које изграђују јурско-кредни кречњаци сиве, свјетлосиве и блиједожуте боје (Ј,К)[4].

Крашки георељеф примарно обухвата зону тунела Мрке. Ријеч је о геопростору који представља једну морфоструктурну цјелину у виду флувиоденудационе површи. Тектонским процесима површ је дјелимично дисецирана и у њој су развијене рјечне долине Мораче и Мале ријеке. Позитивна вертикална кретања доводе до спуштања карстне издани и зоне карстификације, због чега се у издигнутој зони јављају развијени холокарст с мезо и микро облицима (вртаче, долови, шкрапе), посебно у чистим партијама мезозојских кречњака.

3. ПРОРАЧУН ТАЧНОСТИ ПРОБОЈА ТУНЕЛА

За геодетске радове, начин изградње тунела врло је битан јер од њега зависе методе рада, начин стабилизације тачака и тачност мјерења.

Тачност пробоја тунела може бити битно мања при изградњи тунела методом поткопа, него што је то случај при копању тунела у пуном профилу. У првом се случају након пробоја може кориговати искључење пројектоване трасе, док се у другом пробој тунела мора остварити у оквиру унапријед постављених захтјева тачности.

Грешка пробоја тунела састоји се из три компоненте [1]:

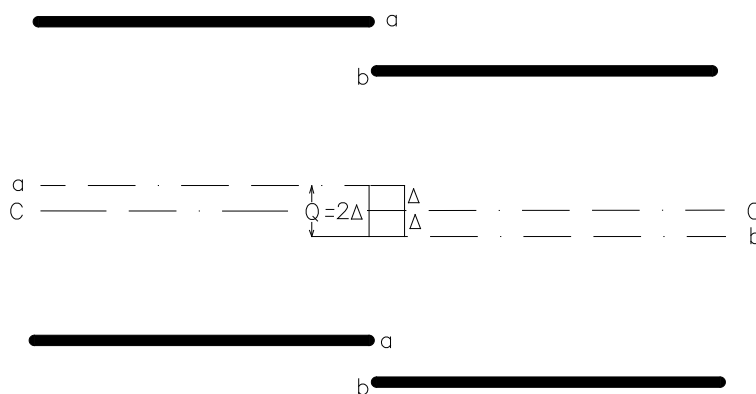
- подужна грешка пробоја (σ_P - одступање у правцу осе тунела),
- попречна грешка пробоја (σ_L - одступање у правцу управном на правац осе тунела),
- висинска грешка пробоја (σ_H - одступање у вертикалном смислу).

Код праволинијских тунела, подужна грешка пробоја нема превише значаја, јер ће се, упркос њој, сусрет осовина догодити нешто мало раније или касније, без негативних исхода. Међутим, ако је тунел праволинијски, а повезан је са другим подземним објектима, или ако је у кривини, последице ове грешке су врло значајне. Попречна грешка пробоја штетна је без обзира која је врста тунела у питању. Услед грешке долази до непоклапања профила тунела на месту сусрета радова и јавља се такозвана паралакса. Од саобраћајних тунела ова грешка највише погађа жељезничке тунеле, где се на тим мјестима осјећају неизбјежни бочни удари. Код водних тунела на овим мјестима се под притиском јављају разарања зидова. Висинска грешка пробоја настаје због грешака висинске основе и висинског обиљежавања током грађења тунела. Кроз праксу се показало да се при пробоју постиже много већа тачност у висинском него у попречном смјеру [11].

Величина допуштеног одступања условљена је величином габаритне резерве, коју одређује пројектант. Овај податак геодетима омогућава да изврше прорачун тачности надземних и подземних мјерења, да би се пробој тунела извео с дозвољеном толеранцијом.

Прецизност се у геодезији разматра на основу стандардних одступања. Полазећи од дозвољеног одступања које је, обично, задано пројектом, требало би усвојити однос између стандардног и дозвољеног одступања (толеранције). При искључењу тунелских оса узима се да је стандардно одступање једнако половини толеранције.

Оса тунела СС (Слика 1), ако не би постојале грешке мјерења, требало би да се поклопи на мјесту сусрета два пробоја.



Слика 1. Дозвољена одступања мимоилажења осовина

Међутим, због познате чињенице да сва мјерења садрже неизбјежне грешке мјерења, то ће се одразити као мимоилажење оса а и б за неку вриједност $Q = 2\Delta$.

Ако је пројектом предвиђено гранично одступање у величини Δ , онда ће међусобно одступање (размимоилажење) радних оса бити 2Δ , па ће прорачун тачности у пробоју тунела полазити од ове величине као дате толеранције:

$$Q = \frac{2\Delta}{2} = \Delta \quad (1)$$

гдје је Q - укупна средња грешка свих мјерења.

Сада се на основу ове вриједности врши избор методе, инструмената и прорачунава тачност са којима треба вршити мјерења елементарних величина.

Дозвољена одступања пробоја за праволинијске тунеле која се рачунају по формулама:

$$\Delta_p = \pm 8.5 * \sqrt{\frac{L}{2}} \quad \Delta_p = \pm 8.5 * \sqrt{\frac{L}{2}} \quad (2)$$

за попречно одступање,

$$\Delta_H = \pm 3.5 * \sqrt{\frac{L}{2}} \quad \Delta_H = \pm 3.5 * \sqrt{\frac{L}{2}} \quad (3)$$

за висинско одступање,

gdje се:

Δ_p добијају у [цм] ако се L изрази у [км] [3].

У тунелу Мрке пробој тунела се одвијао истовремено са оба портала. Након пробоја, када је једна иста тачка обиљежена са двије стране добијено је попречно одступање од 1,7 цм односно вертикално 0,6 цм што је значајно далеко од дозвољених одступања у овом тунелу гдје су пројектом биле усвојене горе наведене толеранције. Узевши у обзир дужину тунела (приближна за обје цијеви) дозвољено попречно одступање је цца 5,4 цм а висинско 2,2 цм.

4. ГЕОДЕТСКЕ МРЕЖЕ ЗА ПОТРЕБЕ ИЗГРАДЊЕ ТУНЕЛА

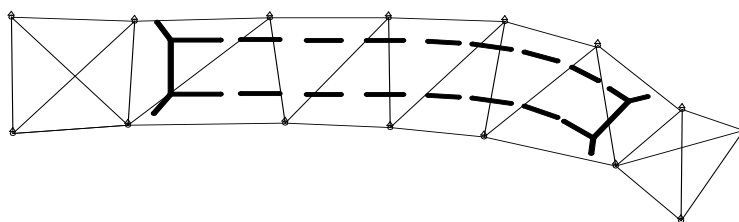
Цјелокупна геодетска основа, микромреже испред улазног и излазног портала, као и мрежа тачака која их повезује пројектује се на карти размјере 1:5000, а саме микромреже пројектују се на топографском плану размјере 1:1000 на којем је нанесен план организације градилишта. Основа при пројектовању геодетске основе за потребе изградње било којег тунела је дозвољено одступање при пробоју тунела, што значи да геодетска основа мора задовољити највеће захтјеве у вези с прецизношћу и поузданошћу. Главне особине пројекта геодетске основе у правилу су:

- надземна геодетска основа мора имати на улазном, односно излазном порталу најмање двије тачке за пренос дирекционог угла у подземну полигометрију,
- осим тачака у близини портала потребно је стабилизovati још најмање двије контролне тачке ради прецизнијег дефинисања оријентације полигонског влака у тунелу,
- надземна геодетска основа треба бити интегрисана у државни координатни систем,
- пројекат мреже се ради на пројекту тунела, гдје су већ пројектовани и сви помоћни објекти који ће служити у току грађења,
- пројекат мреже мора покривати цијело градилиште тунела и удовољавати свим његовим потребама до краја грађења,
- мрежа мора бити хомогена за цијело градилиште тунела и одговарати тачности која је потребна за означавање тачака тунелске осовине при пробијању тунела,
- тачке надземне тунелске триангулације не треба постављати изнад саме трасе, јер током изградње може доћи до деформације терена и према томе и до помјерања тачака. То зависи и од дубине на којој ће се тунел градити и од квалитета тла кроз које тунел пролази.

Тунелска мрежа, као геодетска основа за изградњу тунела има два дијела: надземни и подземни дио.

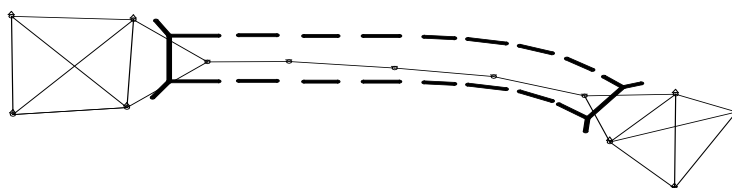
4.1. НАДЗЕМНЕ ГЕОДЕТСКЕ МРЕЖЕ – МРЕЖА ТУНЕЛА МРКЕ

С обзиром да је тунел издужени објекат, до развоја нових технологија, надземна мрежа је по правилу имала облик једноставног ланца троуглова (Слика 2), комбинованог са два геодетска четвороугла код улазног и излазног портала тунела. У оваквој мрежи су се вршила класична терестричка геодетска мјерења.



Слика 2. Надземна тунелска триангулација

У последње вријеме, употребом нових техника и технологија, ланац троуглова, замијењен је полигонометријским влаком (Слика 3), који повезује двије мање тригонометријске мреже код портала, а код краћих тунела је потпуно напуштен јер се раде само мреже код портала.



Слика 3. Надземна тунелска триангулација

Данас, када се у геодезији примјењују Глобални систем за позиционирање (ГПС) и Глобални сателитски систем за навигацију (ГНСС), за пројектовање надземне мреже се користи комбинација сателитских и терестричких мјерења. Ланац троуглова, који је за мјерења био доста тежак и компликован, јер је постављан преко планинских предјела, замијењен је прецизним полигонским влаком који повезује две порталне мреже [5].

Материјализација тачака дијела мреже код оба портала изводи се помоћу стубова за присилно центрисање инструмента и сигнала. Висина стуба над земљом обично је 1.3-1.5 м, а у пресјеку има димензије 0.4x0.4 м или је облика ваљка (Слика 4). Могуће је горњу површину уређаја за присилно центрирање дефинисати као висинску тачку што је и био случај на мрежи тунела Мрке.



Слика 4. Изглед тачака надземне геодетске мреже на тунелу Мрке

У последње вријеме, развојем ГПС технологије све више се ова метода користи код одређивања координата тачака спољне тунелске геодетске мреже, нарочито код тунела веће дужине (на свим тунелским мрежама дионице Аутопута Смоковац - Матешево коришћена је ова метода).

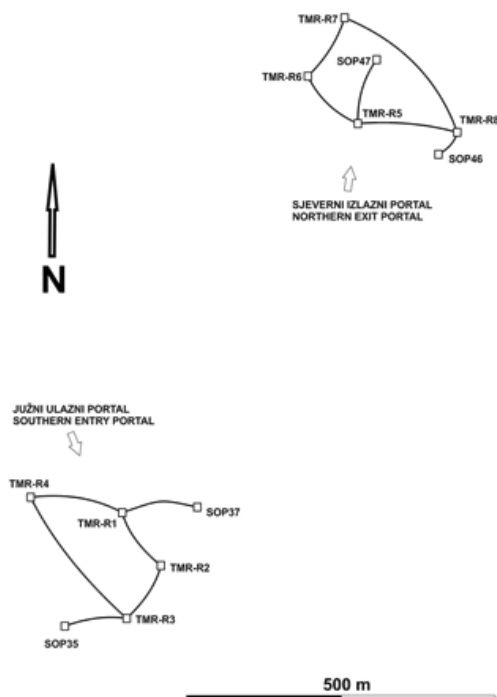
Општи пројектни захтјеви за мрежу за посебне намјене тунела Мрке обухватили су следеће ставке [2]:

- хоризонтално позиционирање тачака да се реализује ГПС технологијим примјеном методе релативног статичког позиционирања,
- координате тачака основне геодетске мреже аутопута користит ће се за хоризонталну датумску дефиницију мрежа посебне намјене,
- хоризонтална трансформација координата тачака у државни координатни систем треба да се изврши Хелмертовом трансформацијом сличности уз употребу постојећих трансформационих параметара, односно њихових вриједности које су биле коришћене током реализације аутопута,

- вертикално позиционирање тачака мреже тунела треба да се изврши методом геометријског или тригонометријског нивелмана,
- висине тачака основне геодетске мреже аутопута и оперативног полигона користит ће се за вертикалну датумску дефиницију мреже посебне намјене.

У ГПС мјерној кампањи кориштена су укупно три ГПС пријемника. На локацијама тачака тунелске триангулације обезбијеђено је отворено небо, радио видљивост и други услови неопходни за примјену сателитске ГПС технологије а на истима је обезбијеђена и оптичка видљивост, за потребе коришћења терестричке мјерне технологије.

На слици 5 дат је изглед тунелске мреже на улазном и излазном порталу тунела Мрке.



Слика 5. Изглед надземне мреже тунела Мрке

Тачке “SOP“ на слици изнад представљају тачке оперативног полигона аутопута које су “увезане“ и у мреже посебних намјена свих објеката па и тунела Мрке. Двије од четири тачке надземне мреже овог тунела укључене су у мрежу посебне намјене моста Горње Мрке који се налази непосредно прије уласка у тунел са јужне стране. За потребе контрола квалитета ГПС мјерења, формиран су затворени полигони у које је укључен сваки одређени ГПС вектор. Након тога су за сваки од полигона срачуната незатварања дуж координатних оса у хоризонталном и вертикалном смислу. Нијесу регистроване никакве грубе грешке чиме је потврђен висок квалитет ГПС мјерења.

4.2. ПОДЗЕМНЕ ГЕОДЕТСКЕ МРЕЖЕ – МРЕЖА ТУНЕЛА МРКЕ

Након одређивања координата тачака спољашње мреже приступа се ископу тунела који се заједно са свим осталим подземним радовима прати кроз привремену унутрашњу мрежу. Прије тога, потребно је оријентисати подземну мрежу, тј. успоставити геометријску везу између ње и надземне мреже јер обје морају бити одређене у истом координатном систему.

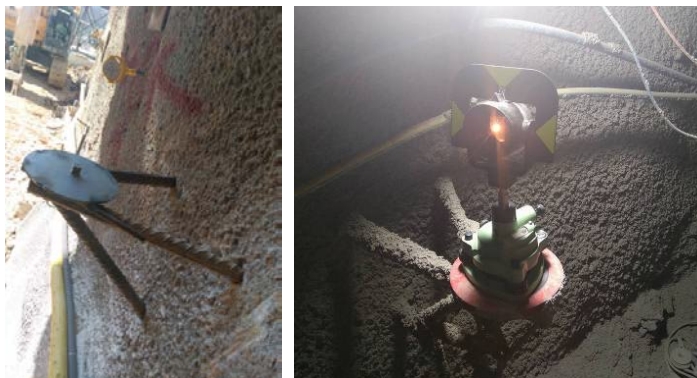
Код тунела, за оријентацију су карактеристична два случаја: када се пренос дирекционог угла и координата изводи кроз тунелске портале и случај преноса ових елемената кроз вертикална окна. У тунелу Мрке се пренос оријентације вршио кроз портале тунела.

Подземна мрежа је некад развијана кроз тунел, начешће преко полигонског влака чије тачке су биле материјализоване у средини калоте. Тај влак је био доста несигуран јер је у ствари то био такозвани слијепи полигонски влак. Како тачност пробоја тунела директно зависи од тачности координата тачака геодетске мреже са које се врши обиљежавање осе тунела, слијепи полигонски влак својом геометријом није обезбијеђивао потребну тачност пробоја тунела. Данас се зато постављају два полигонска влака, са сваке стране тунела по један, тако да се са тачака једног влака могу опажати тачке другог и обрнуто. Тако се добија подземна мрежа коју чине слијепи полигонски влакови повезани дијагоналним и попречним везама.

Овако пројектована геометрија подземне мреже, која може бити ланац троуглова, геодетских четвороуглова или њихова комбинација, омогућава реализацију мреже чија тачност координата тачака може обезбиједити потребну тачност пробоја тунела.

Када се пренос дирекционог угла и координата врши преко тунелских портала постоји неколико начина за тај поступак као и начин стабилизације тачака подземне мреже.

Ове тачке је могуће поставити на бочни зид прије бетонирања секундарне облоге на начин што се у њега уграђује постоље са положајним завртњем и овај метод је коришћен у тунелу Мрке (Слика 6).



Слика 6. Стабилизација тачака подземне геодетске мреже у тунелу Мрке

На тачност координата тачака мреже, поред геометрије саме мреже, утиче тачност мјерених величина (углова и дужина), грешка почетног дирекционог угла, бочна рефракција итд. Стога се бирају одговарајући инструменти и методе мјерења који ће испунити задате критеријуме. На лицу мјеста врши се контрола квалитета серија мјерења. У случају потребе, серије се понављају. У току развијања подземне мреже долази до нагомиланања случајних и систематских грешака мјерења, које утичу на тачност пробоја тунела умањујући је, па је стога неопходно њихово праћење и елиминација из резултата мјерења [8].

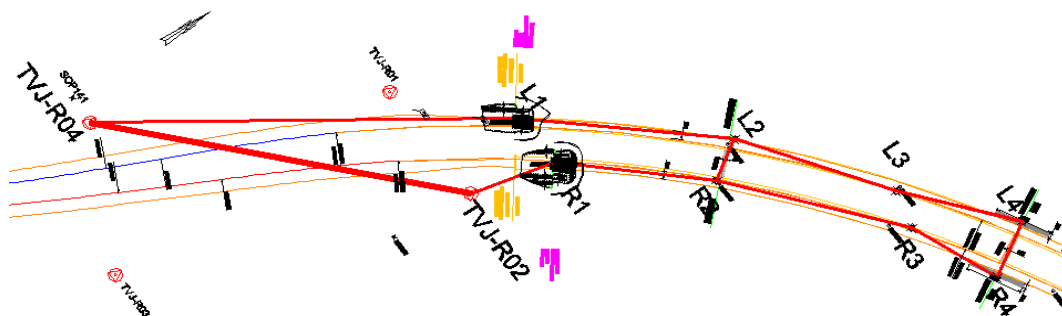
Са побољшањем прецизности тоталних станица, све се више користи тригонометријски нивелман за контролу висине. Овдје се истовремено са изравнањем унутрашње мреже у положајном смислу врши и њено висинско изравнање мјерећи вертикалне углове и дужине па се тако добија унутрашња тунелска 3Д мрежа.

Координате привремених тачака унутрашње тунелске мреже у тунелу Мрке, сукцесивно су одређиване заједно са прокопом тунела. Ове тачке се стабилизоване у дијелу гдје је тунел раван на 150 – 250 м а у дијелу гдје је тунел закривљен на око 70 м. Оне су служиле за праћење ископа, постављање ремената, праћење примарне и секундарне облоге као и праћење конвергенције у тунелу. Одређивање координата ових тачака је вршено максимално опрезно са најпрецизнијим инструментима (једносекундне тоталне станице) и мјерењем углова и висинских разлика у бар два гируса.

Приликом пробијања вишетрачних тунела као што је тунел Мрке ситуација са одређивањем координата тачака привремене унутрашње мреже је нешто повољнија него код једнотрачних тунела. Овдје је могуће кроз попречне пролазе који се пробијају на цца 250 м (Слика 7) затворити полигонски влак на тачке спољашње тунелске мреже (Слика 8). На овај начин је могуће изравнати координате унутрашњих тачака и тиме повећати њихову тачност.



Слика 7. Попречна веза у тунелу Мрке



Слика 8. Затворени полигонски влук кроз попречну везу у тунелу

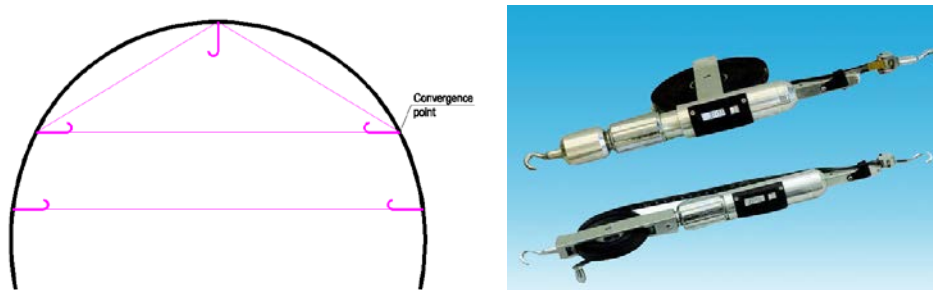
5. РАДОВИ НА ОСМАТРАТРАЊУ И МОНИТОРИНГУ НАТМ

НАТМ методу ископа можемо посматрати као филозофију пројектовања тунела, засновану на следећим концептима:

- Носивост стијенске масе око отвора тунела мобилише се до максимално могућег степена. Пројектант тунела врши претпоставку радијалних помјерања која су очекивана у пресеку тунела и дефинише параметре које је потребно пратити;
- Након ископа се врши уградња елемената примарне подграде у складу са геолошким условима градње. Након тога се врши контрола радијалних деформација и геодетски и геотехнички мониторинг. Контролисањем и праћењем радијалних деформација у тунелу на дефинисаним профилима на дневном нивоу упоређују се резултати са оним које је пројектант тунела предвидио у пројекту. Мјери се укупна величина радијалних деформација као и прираст деформација;
- У случају да параметри које је пројектант дао нису задовољени, повећава се фреквенција мјерења и обавјештава пројектант о резултатима мјерења. Пројектант на основу резултата прописује уградњу додатних елемената подграде и наставља се са мониторингом све док резултати не покажу да је тунел стабилизован;
- Након што је показано да је тунел стабилизован прије него што се настави са радовима на унутрашњој облози потребно је потврдити да су радијалне деформације завршене односно испод нивоа од 4 мм на мјесечном нивоу.

Као што се види из презентоване процедуре, улога геодетских мјерења током ископа НАТМ методом је веома важна, јер је повезана са непосредном безбједношћу људства и опреме инвеститора и извођача радова. У складу са тим, одговорност геодетског инжењера да врши редовна мјерења, повећава фреквенцију мјерења и обавјештава извођача и пројектанта у реалном времену је од највећег значаја.

Раније су се радијалне деформације тунела мјериле прецизним мјерењима дужина на мјерним мјестима помоћу специјалних инструмената (Слика 9).



Слика 9. Мјерење радијалних деформација мјерењем дужина

Са унапређењем прецизности тоталних станица мијења се приступ овим мјерењима. Сада се на мјерним мјестима уграђују рефлектори на пројектованим позицијама којима се одређују 3Д координате да би се израчунале конвергенције и помјерања.

Поларне координате рефлектора представљају оригинална читања која дефинишу попречни пресјек. Апсолутне 3Д координате попречног пресека рачунају се са поларним координатама. Сврха 3Д мјерења је:

- верификација геолошких истраживања,
- прилагођавање подграде стварном стању,
- провјера исправности свих подградних мјера [7].

5.1. МОНИТОРИНГ РАДИЈАЛНИХ ДЕФОРМАЦИЈА У ТУНЕЛУ МРКЕ

На тунелу Мрке је ископ вршен НАТМ методом и у даљем тексту су пренешена искуства са овог пројекта. Мјерења су се вршила по унапријед дефинисаним смјерницама датим од стране пројектанта. Секције мјерења су биле дефинисане у зависности од класе стијенске масе у складу са РМР класификацијом и то:

- 1 профил/50 м за II РМР класу околне стијене,
- 1 профил/40 м за III РМР класу околне стијене.

Геотехничким елаборатом су били прогнозирани релативно повољни геотехнички услови у терену који је доминантно састављен од слојевитих до банковитих кречњака РМР класе II и III са мјестимичном појавом расједа. Током извођења радова су установљени доста неповољнији геолошки услови са интрузивно испуцалим и карбонизованим кречњацима са глинеом испуном, значајном појавом расједа као и појавом вертикалних канала и пећина без испуне и са глинеом испуном. Након завршетка радова на ископу утврђено је да је 90% стијенске масе било класе III РМР [12] а 10% IV РМР класе.

Лоши геолошки услови су усложнили извођење радова у дијелу пробоја и саме стабилности ископа па је у складу са НАТМ, повећан обим радова на осматрању и мониторингу. Укупан број уграђених профила у тунелу Мрке је 10 за лијеву цијев и 8 за десну.

На подручју гдје су геолошки услови лоши, тест профили су мјерени на краћем интервалу. Веома је важно да се тачке на профили за конвергенцију стабилизују и одреде њихове нулте координате највише 24 h од минирања јер су тада очекивана помјерања највећа.

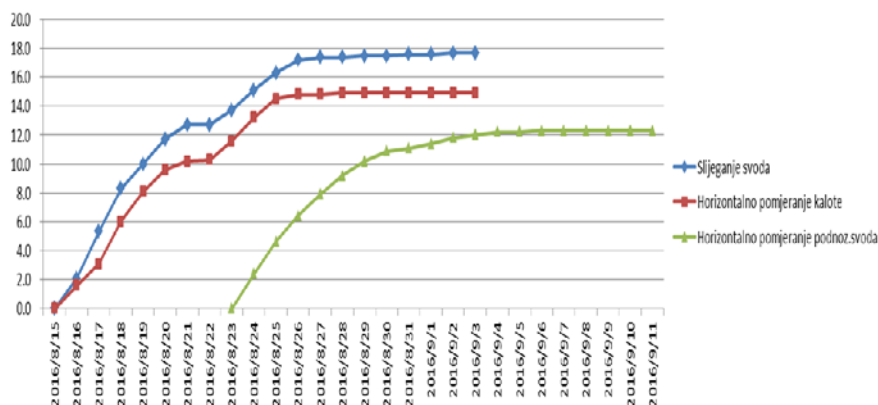
Рефлектирајућа призма је постављана на носачу од арматуре која је уграђена у торкрет односно стијенски масу (Слика 10). Вођено је рачуна да се елемент не смије постављати на елементе подграде типа анкера или челичних ремената јер мјерења неће бити валидна. Елемент на који се поставља призма мора имати слободан крај на начин да се она са њега може стављати и скидати. Ово је нарочито битно због тога што приликом бушења тунела минирањем ове призме треба привремено скидати са профила блиских челу да исте не би биле уништене. Ако је тачка мјерења оштећена, треба је одмах замијенити бушењем рупе у близини претходне тачке мјерења и поставити арматуру у рупу са малтером. Конвергенција је мјерена на пет мјерних мјеста и то једна, кључна тачка смјештена на круни тунела, двије тачке са стране (средњи дио ископаног простора у првој фази ископавања) и двије тачке смјештене на бочним зидовима (Слика 10).



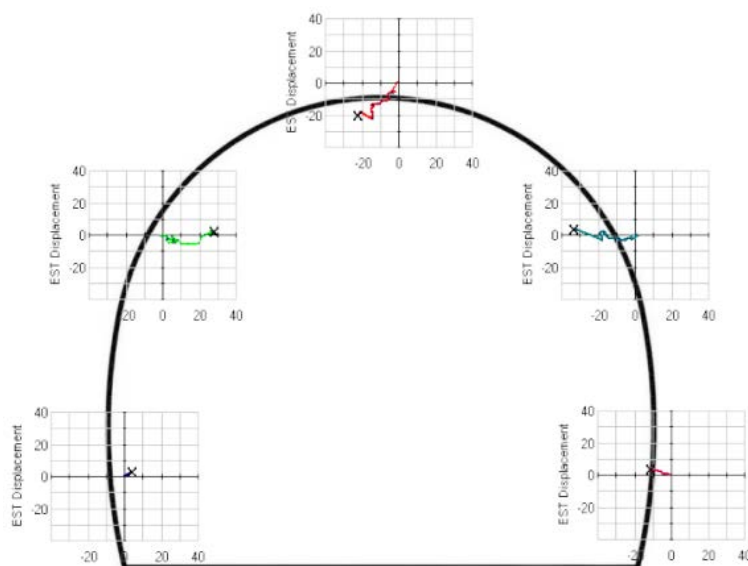
Слика 10. Рефлектори (призме) за мјерење радијалних помјерања у тунелу Мрке

Фреквенција мјерења се утврђује у зависности од добијених помјерања. У почетку се мјерења врше свакодневно, затим кад дође до постепеног умиривања све рјеђе док се не постигну пројектом предвиђени захтјеви за престанак мјерења радијалних помјерања. При овој методи мјерења, упоредо са мјерењем конвергенције, тј. растојања међу постављеним мјерним тачкама рачуната су и укупна тродимензионална помјерања тачака.

Након што се заврше мјерења, израђују се дијаграми са осама - вријеме и помјерање (Слике 11 и 12) који представљају однос положаја у простору са временом мјерења података.



Слика 11. Дијаграм вријеме – помјерање



Слика 12. Транслаторно-вертикално помјерање

Конечне референтне вриједности за сваки тип профила који се прати и контролише (а које су дате од стране пројектанта или стручног надзора) и провјерене вриједности се упоређују да би се анализирао опсег и снага обраде и ојачавања. Максимално дозвољене деформације зависе од типа стијене који утврђују геолози и дефинисане су у пројекту. Пројектом тунела Мрке [10], дефинисано да када мјерења покажу да је стопа радијалног измијештања на свакој позицији периферије тунела мања од 4 мм за 30 дана, сматра се да је околна стијена генерално достигла стабилност. У том моменту се демонтирају мјерне тачке и изводе се радови на секундарној облоги.

Пројектом су предвиђене следеће референтне вриједности и ограничења:

- Максимална дозвољена деформација за категорију стијене II је 30 мм, за категорију стијене III је 70 мм, за категорију стијене IV је 120 мм и за категорију стијене V је 150 мм.
- Када је вриједност измјереног помјерања мања од 1/2 вриједности дозвољене деформације, радови се извршавају на нормалан начин;
- Када је вриједност измјереног помјерања већа или једнака 1/2 вриједности, и мања или једнака 2/3 вриједности дозвољена деформација, разматраће се подграда;
- Када је измјерена вриједност помјерања већа од 2/3 вриједности дозвољене деформације, биће предузете посебне мјере;

Како резултати мјерења нијесу прелазиле задате вриједности, и поред геолошког терена неповољнијег од очекиваног, није било потребе за предузимањем посебних мјера и ојачања. С обзиром да се сви подаци снимају, неке конвергентне линије које нису биле значајне у почетку, могу касније да се израчунају. Такође, било која од већ постојећих епоха мерења може да се одабере за нулту епоху у односу на будућа мјерења [9].

6. ЗАКЉУЧАК

Тунел Мрке је један од тунела на дионици аутопута Смоковац Матешево који је имао најповољније геолошке услове за пробијање. Конфигурација околног терена дозволила је стабилизацију надземне геодетске мреже добре геометрије и квалитета. На улазном порталу двије од четири тачке за овај тунел, коришћене су и за мост Горње Мрке који се налази непосредно прије овог тунела. Из квалитетно постављене надземне мреже и вршећи редовне контроле на тачкама подземне мреже а користећи савремене и прецизне тоталне станице могла се очекивати тачност пробоја која ће бити у границама задатих толеранција што се и испоставило као тачно. Начин стабилизације тачака подземне мреже приказан у раду, показао се као адекватан за ову врсту геолошких услова. Редовно пратећи мјерења конвергенције, добијена сажимања стијенске масе била су у границама очекивања у зависности од категорије терена, те није било потребе за додатним ојачањима.

ЛИТЕРАТУРА

- [1] А. Беговић, „Инжењерска геодезија 2“. Београд, Научна књига, 1990.
- [2] Министарство саобраћаја и поморства, China Road and Bridge Corporation, Geo Max group d.o.o., „Главни пројекат геодетске мреже за тунел Мрке“. Podgorica, 2015.
- [3] Д. Димитријевић, „Тунели пројектовање и грађење“. Београд, Завод за издавање уџбеника, 1964.
- [4] Конзорцијум Inter Project-Entasis d.o.o., „Елаборат процјене утицаја Ауто пута на животну средину дионица Смоковац-Матешево“. Подгорица, 2015, pp. 1-646.
- [5] З. Каповић, „Геодезија у нискоградњи“. Загреб, Свеучилиште у Загребу, Геодетски факултет, 2010.
- [6] Ј. Максимовић, З. Сушић, М. Батиловић, Р. Ђуровић, Т. Нинков, „High precision geodetic works in the tunnel breakthrough process“. INDIS, Нови Сад, 2018, pp. 491-496.
- [7] М. Hudec: „Nova Austrijska Tunelska Metoda“. Загреб, Sveučilište u Zagrebu, Rudarsko geološko naftni fakultet, Sveučilišna skripta, 2000.
- [8] М. Савановић, „Прилог развоју методологија израде оптималних пројеката локалних геодетских мрежа метроа“. Докторска дисертација, Факултет техничких наука, Нови Сад, 2017.
- [9] N. Clarke-Hackston, M. Messing, E. Ullrich, „Geodetic Instrumentation for Use on Machine Bored Tunnels“. Zurich, 1st International Conference on Machine Control & Guidance, ETH Zurich, 2008.
- [10] China Road and Bridge Corporation, „Пројекат тунела Мрке“. Подгорица, 2015.
- [11] Ч. Цветковић, „Примена геодезије у инжењерству“. Београд, Грађевинска књига, 1970.
- [12] Bieniawski, Z.T., „Rock Mass Classification in Rock Engineering. In: Bieniawski, Z.T., Ed.“, Symposium Proceedings of Exploration for Rock Engineering, 1, 1976, pp. 97-106.