



**МАРКШАЙДЕРСКИ НАБЛЮДЕНИЯ ЗА СЛЕДЕНЕ УСТОЙЧИВОСТТА НА ЖЕЛЕЗОПЪТЕН ТУНЕЛ
№11 НА ОБЕКТ „КОСТЕНЕЦ – СЕПТЕМВРИ“, ПО ПРОЕКТ „МОДЕРНИЗАЦИЯ НА ЖЕЛЕЗОПЪТНИЯ
ТРАНСПОРТ”**

Калоян Терзов
„Транс Логистика“ ЕООД, terzov_kaloqn@abv.bg
Александър Цонков
Минно-геоложки университет „Св. Иван Рилски“, 1700 София, altzon@abv.bg
Милена Бегновска
Минно-геоложки университет „Св. Иван Рилски“, 1700 София, milena.begnovska@mgu.bg

**MINE SURVEYING OBSERVATIONS FOR MONITORING THE STABILITY OF RAILWAY TUNNEL No. 11
AT THE "KOSTENETS – SEPTEMVRI" SITE, UNDER THE PROJECT "MODERNIZATION OF RAILWAY
TRANSPORT"**

Kaloyan Terzov
"Trans Logistika" Ltd, terzov_kaloqn@abv.bg
Alexander Tzonkov
University of Mining and Geology "St. Ivan Rilski", 1700 Sofia, altzon@abv.bg
Milena Begnovska
University of Mining and Geology "St. Ivan Rilski", 1700 Sofia, milena.begnovska@mgu.bg

ABSTRACT

The railway section Kostenets – Septemvri is part of the project "Modernization of the Sofia – Plovdiv railway line" which is an important element of the Trans-European Transport Network corridors. The project is of strategic importance not only for Bulgaria but also for better connectivity of all Southeast European countries. Through the rehabilitation of this railway section, the overall modernization of the Sofia – Plovdiv line will be realized. The project includes the modernization of a double-track, electrified railway line. The report presents the mine surveying activities for monitoring the stability of the railway Tunnel No. 11 which is 2500 meters long.

Въведение

Железопътният участък Костенец – Септември е част от проект „Модернизация на железопътната линия София – Пловдив“, който е важен елемент от коридорите на Транс-Европейската транспортна мрежа. Проектът е от стратегическо значение, не само за България, но и за по-добрата свързаност на всички държави от Югоизточна Европа. Чрез рехабилитацията на този железопътен участък ще се осъществи цялостното модернизиране на линията София – Пловдив и ще се разреши едно от основните затруднения пред Паневропейската железопътна мрежа в Югоизточна Европа, намираща се на пътя на най-кратката връзка между Западна и Централна Европа, Близкия Изток и Азия. Проектът включва модернизация на двойна, електрифицирана железопътна линия.

Строително-монтажни дейности по проекта включват:

- модернизация и електрификация на железопътната линия Костенец – Септември;
- отстраняване на железопътни прелези;
- нови пътни надлези – 3 пътни надлеза над новата жп линия и един пътен подлез;
- изграждане на мостове и виадукти – 23 бр., с обща дължина 2,49 km;
- модернизиране и изграждане на гари – нова жп гара Костенец и реконструкция на жп гара Белово;

- изграждане на тунели – 3 бр., с обща дължина 4,6 km;
- инсталация на шумозащитни бариери, дренажни тръби и подпорни стени;
- реконструкция на съществуваща тягова подстанция (Белово);
- системи за управление на железопътно движение – инсталацията на компютризирана система за електронна блокировка.

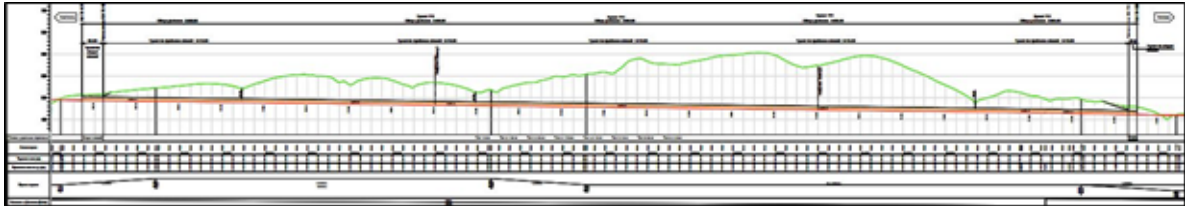
В доклада са представени маркшайдерските дейности при следене устойчивостта на железопътен Тунел № 11, с дължина 2500 m. Проектът се изпълнява от ДЗЗД „Костенец-Септември 2018“ с подизпълнител „Транс логистика“ ЕООД. Възложител на проекта е Държавно предприятие „Национална компания железопътна инфраструктура“, консултант: Обединение „Ивер“ ДЗЗД, Финансиране: Механизъм за свързване на Европа – сектор „Транспорт“.

След реализирането на проекта трасето в участъка Костенец – Септември ще позволява скорости от 160 km/h за пътнически влакове и 120 km/h за товарни влакове. Модернизирането на този железопътен участък създава условия за увеличаване на обема на превозваните товари, вследствие на подобрени характеристики на линията по отношение на скорост, време на пътуване, пропускателна способност и надеждност на обслужването. С проекта се постига пренасочване на товари от автомобилните към железопътните превози, което води до намаляване емисиите на парникови газове и се отразява благоприятно върху околната среда.

Общи сведения за железопътен Тунел №11 по жп отсечка „Костенец – Септември“

Изследваният участък е изграден на километър 85+631.00 до 86+400.00 – път 1 от жп линия София – Пловдив. Тунелът е в процес на изграждане, формата на напречното сечение на изработката е двуцентров свод с проектни размери 14,00 m / 6,55 m (ширина / височина).

Изработката е слабо наклонена. Прокарването се извършва от два входа чрез сбойка.



Фиг. 1. Надлъжен профил на тунел № 11

Този тунел е най-дългият от участъка. Преминава предимно през различни гнайсови и лептинитови скали (с включения от мраморни лещи), а в източната част и през преобладаващи бели мрамори (с основи от доломитни мрамори с предполагаеми тънки прослойки от гнайс) [1]. В зоната на тунела се наблюдават и разломи с различна ориентация и наклон.

Изследване на деформации чрез геодезически методи. Общи сведения

Изследване на деформации на строително съоръжение или обект се извършва:

- в периода на строителството;
- в периода на експлоатация на обекта.

Съгласно [3] при изследванията се спазва следната последователност:

- организиране на наблюденията;
- извършване на измервания;
- обработване на резултатите от измерванията;
- анализ и интерпретация на получените крайни резултати.

С инвеститора се съгласува начина на оформяне и представяне на междинни и окончателни отчети за изследванията.

Изготвя се проект, в който се посочват [3]:

- минимална и максимална стойност на деформациите, които се очакват с определена сигурност за определено време;
- точността и инструментите, с която трябва да се извършват измерванията;
- моментът за започване на наблюденията и интервалите между тях;
- условията, при които наблюденията могат да бъдат прекратени;
- границите на очаквани деформационни зони;
- местоположенията на точките, които ще бъдат наблюдавани за установяване на премествания;
- местоположението на точките, които ще бъдат използвани като изходни за извършване на измерванията;
- необходимите допълнителни данни, които трябва да се събират по време на измерванията с цел да се подпомогне тълкуването на получените резултати (час, температура, влажност, атмосферно налягане).
- уточняват се броя и квалификацията на техническите лица и помощния персонал, които ще извършват измерванията.

Методи за определяне на хоризонтални премествания

Хоризонталните премествания се определят чрез тригонометричен, полигонометричен и створен методи [3]. За определяне на хоризонтални премествания се използват следните тригонометрични методи: триангулация, трилатерация, прецизна полигонометрия, различни видове засечки, полярен метод и ъглово-линейна мрежа. Триангулацията е най-често прилаганият метод. Трилатерацията се прилага по-рядко. Полигонометричният метод се използва във вид на единични полигонови ходове или мрежа от полигонови ходове. Единичните полигонови ходове са включени или затворени. Полигоновите ъгли се измерват в няколко гируса. Точността на измерванията се оценява с ъгловото и линейното несъвпадение. Створните методи за определяне на хоризонтални премествания се използват предимно при изследване на праволинейни обекти. За всеки створ се въвежда локална правоъгълна координатна система, едната ос на която съвпада, а другата е перпендикулярна на створната линия. Наблюденията се извършват с прецизен ъгломерен инструмент. При полярния метод се измерва хоризонтална дължина и хоризонтален ъгъл на линията, която свързва станцията с наблюдавания репер. Наблюденията се извършват с геодезическа станция. Њглово-линейна мрежа се прилага когато се наблюдават повече точки, като се използват няколко изходни точки. Оценките на получените резултати се получават след изравнение на мрежата.

Методи за определяне на вертикални премествания

Определянето на вертикални премествания се извършва чрез геометрична, тригонометрична или хидростатична нивелация, в зависимост от изискванията, точността и конструктивните особености на обекта [3]. При геометрична нивелация, точността на измерванията и изборът на подходящ инструмент зависи от класа на нивелация (I клас – 0.10 mm/km; II клас – 0.20 mm/km; III клас – 0.40 mm/km). Тригонометрична нивелация се прилага при изследване на вертикални деформации, когато минималното преместване, което следва да се определя съгласно заданието, е по-голямо и когато контролните точки са трудно достъпни. Извършва се съвместно с тригонометричното определяне на хоризонталните премествания, като се изхожда от една опорна мрежа. Изборът на инструментите и точността на измерване зависи от необходимата точност, с която ще се определят вертикалните премествания. Хидростатична нивелация се прилага, когато няма подходящи условия за геометрична нивелация или тя не удовлетворява изискванията за точност, и когато не се очакват големи стойности на преместванията. Използват се прибори за визуално, автоматично или дистанционно отчитане.

В настоящото изследване вертикалните и хоризонталните премествания се определят едновременно, тригонометрично, като се изхожда от една опорна мрежа.

Изследване устойчивостта на изходните точки

Наблюдаваните и изходните точки, образуват една геодезическа мрежа, която периодично се измерва. Преместванията на изследваните точки се определят спрямо опорните и се явяват разлики в координатите им между различните цикли.

От това следва, че за да могат да се определят тези премествания, координатната система трябва да е една и съща във всички цикли на измерване. Това обстоятелство предполага еднаквост на мащаба в отделните цикли и стабилност на опорните (изходните) точки. Изследваните точки по съоръжението претърпяват деформации и поради това координатната система на обекта трябва да се дефинира само от опорните точки. Последното обстоятелство прави особено важен въпросът за изследване устойчивостта на изходните точки.

Изисквания и особености при изследване на деформациите на тунели

Съгласно [3]:

Преместванията, които възникват в тунелните конструкции, са слягане на временното укрепване при прокопаване на галериите и оформянето на горната част на тунелите, слягане на свода, сближаване на стените, елиптичност на тунелните части с кръгло сечение и др.

Извършват се периодични измервания на сводовите части на укрепването и тунелните облицовки и долните части на съоръженията. Измерват се дължините на хоризонталните, вертикалните и наклонените диаметри и разстояния между марките, поставени в стените на тунела. В тунели с облицовки от сглобяеми елементи (чугунени пръстени с голям диаметър – тубинги, блокове, секции и др.) се извършват периодични измервания на хоризонталните, вертикалните и наклонените диаметри, а също и измервания на вертикални премествания на сводовете и долните части на тунела.

Обръща се особено внимание при изследване на деформации в периода на разкриване на отворите, натоварване на щурцове, снемане на временните разпънки и др.

Честотата на периодичните измервания за определяне на сляганията се определя в зависимост от размера им, като времето между две последователни измервания в периода на строителството не е повече от 20 дни. Честотата на измерванията на другите видове премествания се определя от проектантите на съоръженията.

Избор на метод и точност на измерване

Избирането на подходящ метод за измерване може да стане въз основа на [3]:

- Точността, с която се определя началното (нулево) преместване на една наблюдавана точка, се изчислява по формулата:

$$\mu_H \leq \frac{\Delta Q_{min.}}{2.8 \sqrt{\frac{1}{p}}}, \quad (1)$$

- Точността, с която се определя началното (нулево) преместване на една изходна точка:

$$\lambda_H \leq \frac{\Delta Q_{min.}}{4.7 \sqrt{\frac{1}{q}}}, \quad (2)$$

$$\mu_H \leq \frac{\Delta Q_{min.}}{3.5 \sqrt{\frac{1}{p}}}, \quad (3)$$

където:

μ_H – средна квадратна грешка, с която се извършват измерванията за определяне на точките и реперите по обекта при първия (началния) цикъл;

λ_H – средна квадратна грешка, с която се извършват измерванията при първия (началния) цикъл;

ΔQ_{min} – минимално преместване, дадено в заданието;

$\frac{1}{p}$ – обратна тежест на съответното преместване Q на най-неточно определената наблюдавана точка;

$\frac{1}{q}$ – обратна тежест на съответното преместване Q на най-неточно определената изходна точка.

- Условието, при които се определят деформациите – теренните условия; условия, наложени от конструктивните особености на съоръжението – размери, форма и др.; атмосферните условия; условия породени от особености при експлоатацията на съоръжението;
- Съществуващите инструменти и оборудване, както и възможността за своевременно доставяне на други необходими инструменти и уреди.

Избраният метод се използва без изменения от началото до края на определянето на деформациите на дадения обект. Изменения се допускат само при изключителни обстоятелства и когато необходимата точност позволява това. Точността в измерванията в отделните моменти трябва да бъде еднаква.

Точността, с която се извършват измерванията се избира съобразно съществуващите норми и правилници. Когато няма указания за точността, се определя съвместно с проектанта на обекта, въз основа на съществуващите геоложки условия, вида на обекта, скоростта и големината на очакваните деформации.

По-точни измервания се извършват при чувствителни към деформациите обекти, при по-къс период от наблюдение.

При премествания с по-голяма скорост и при обекти, които не изискват висока точност, измерванията се извършват с по-ниска.

Маркшайдерски наблюдения за следене устойчивостта на железопътен Тунел № 11 на обект „Костенец – Септември“



Фиг. 2. Портал на тунела



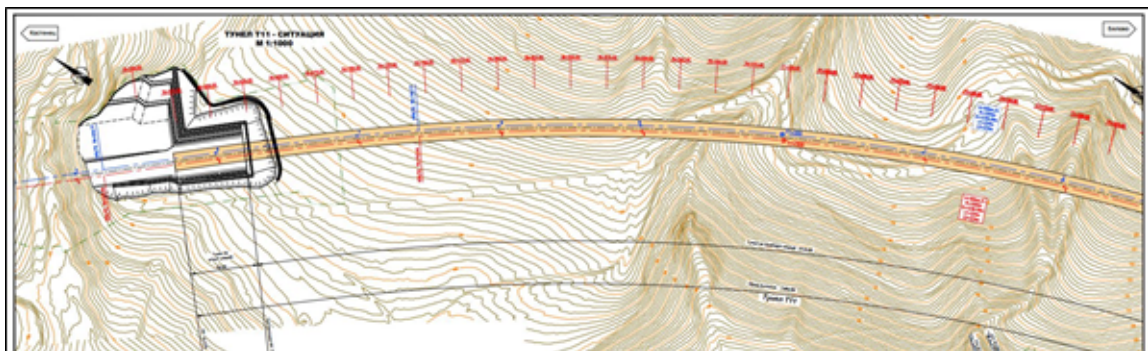
Фиг. 3. Портал на тунела

При строителството чрез портали в началото и края на тунела по открит начин се изкопават по няколко метра и се изграждат защитни стени, които предпазват тунела от дъждовни води или топенето на снеговете [4]. След това се прокопава и бетонира свода на тунела в района на портала. Между железопътното трасе и портала се изгражда преходна рампа с наклон към трасето. Прокопаването на тунела се извършва от двата портала едновременно към средата с насрещни забои.

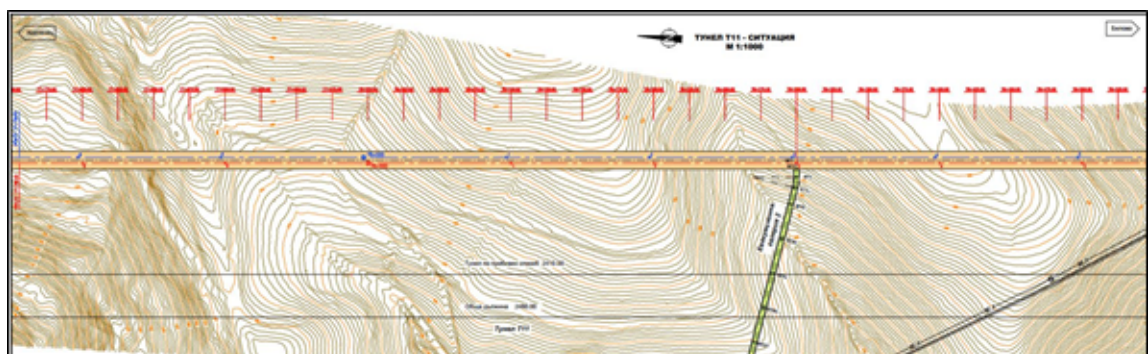
При строителство на тунели се създават две Инженерно-геодезически мрежи: на повърхността и в тунела. Задължително в двете мрежи се включват предпорталните точки. На повърхността мрежата се развива като мрежа от геодезически четириъгълници, триъгълници и полигонометрия. Трасирането в тунела се извършва от двустранно разположените предпортални точки с полигонови ходове, като броят на точките нараства с приближаването на мястото на срещане на двата забоя. Изискването за точност на тези мрежи е да се осигури средна квадратна грешка на сбояката в отговорното направление по-малко от 50 mm.

Координирането на инженерно-геодезическата мрежа на Тунел № 11 на обект „Костенец – Септември”, по проект „Модернизация на железопътния транспорт”, е извършено чрез статични измервания с ГНСС приемници Hi-Target, а надморските височини – чрез I-ви клас геометрична нивелация, извършена с инструмент Trimble R21. Работната геодезическа основа на тунела се състои от две отделни мрежи – планова и височинна. Някои от точките от тези две мрежи съвпадат, но измерването и изравняването им се извършва поотделно и независимо една от друга. Всяка една от двете мрежи (планова и височинна) се състои от две части – наземна и подземна. Наземната част на мрежата се изгражда и изчислява преди започване на строителството на тунела. Подземната геодезическа основа се създава и изчислява постепенно през целия период на строителството.

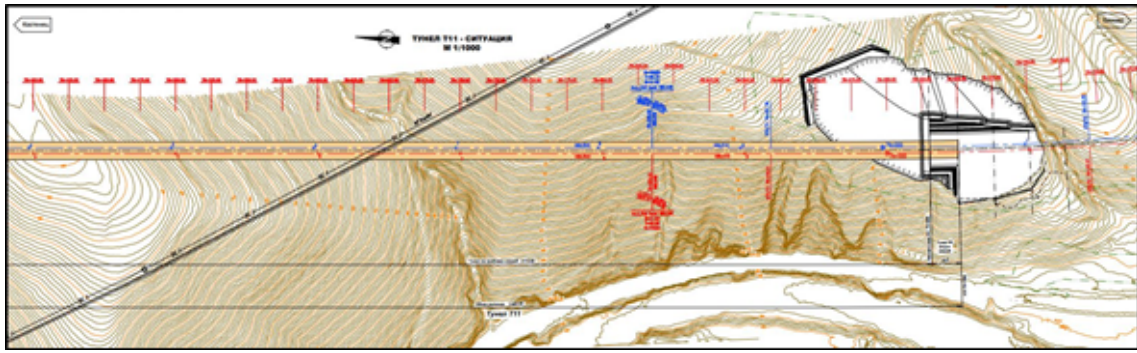
При избиране на местата на точките и реперите от геодезическите опорни мрежи се взема предвид: очакваната зона на деформиране, резултатите от геоложките, хидроложките и др. изследвания, избрания метод за определяне на съответните деформации и точността, с която трябва да се определят деформациите. На базата на тази точност, предварително се определят необходимите за проектирането данни – допустими дължини и ъгли, брой на станциите при извършване на нивелация и др. Контролните (наблюдаваните) точки се поставят там, където се очакват най-големи деформации и в зоните около тях.



Фиг. 4. Северен портал на тунела и част от трасето

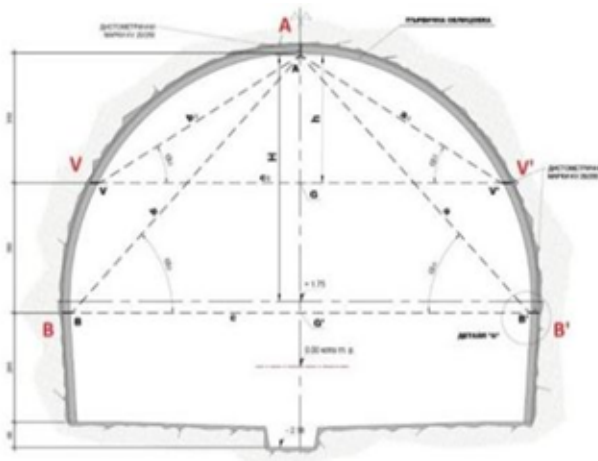


Фиг. 5. Част от трасето към южния портал

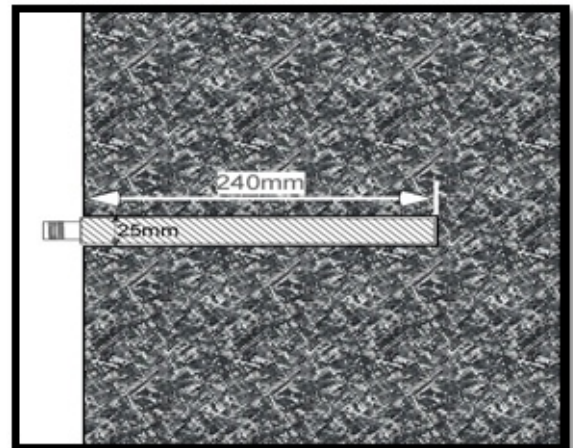


Фиг. 6. Южен портал на тунела и част от трасето

В конкретния случай, наблюдаваните точки са поставени във формата на полукръг или т.нар. „ринг“, като липсват точки единствено по долницето на изработката (фиг.7), предвид факта, че в Тунел №11 се движат тежки машини. Начинът на стабилизиране на изходните и наблюдаваните точки им осигурява достатъчна устойчивост и стабилност във времето (фиг. 8). Сигнализирането на изходните точки се извършва, както е показано на фиг. 9. Маркшайдерските наблюдения се извършват с геодезическа тотална станция Leica TS06.



Фиг. 7. Схема на разположение на наблюдаваните точки в сечението на тунела



Фиг. 8. Стабилизиране на точка в стената на тунела



Фиг. 9. Точка от полигоновата мрежа и част от наблюдаваните точки в Тунел 11

Методическа последователност при следене устойчивостта на Тунел №11

- Ориентацията се извършва към пет от изходните точки пред портала, които са разположени на терена, под формата на стълбчета за принудително центриране;
- Изпълняват се 3÷5 броя гириси;
- Измерват се всички посоки към наблюдаваните точки, които се виждат от съответната измервателна станция, в две положения на зрителната тръба;
- Измерванията се обработват чрез специализиран софтуер Leica Tunnel system;
- Измерванията за изследване на деформации трябва да се извършват наведнъж, без прекъсване и за кратък период от време;
- Тунел № 11 е в процес на изграждане и измерванията се съобразяват със сменното работно време и движенията на тежки машини, които влияят на точността на измерване.

При изследване на деформационни процеси в подземни условия е необходимо измерванията да се извършват с прецизни инструменти и висока точност. Проследяват се хоризонтални и вертикални премествания на наблюдавани точки във времето. Въз основа на получените резултати се определят стойности на хоризонтални и вертикални деформации за изследваните деформационни зони и участъци. При необходимост може да се извърши прогнозиране на развитието на деформационния процес за избран период от време. Прогнозирането се основава на избран модел на деформационния процес, чрез който се дефинира наличието или отсъствието на закономерност на развитие (тренд).

Изчисляване на преместванията, определящи изменението на елементите от сечението на тунела

Извършени са измервания за определяне на пространствените изменения на линейните размери на наблюдавани диаметри в напречното сечение на тунела в два наблюдавани участъка:

- КМ 78+334 – КМ 78+255 (фиг.5) и КМ 76+772 – КМ 76+842 (фиг.4).

Регистрирани са измененията на размерите на наблюдаваните диаметри спрямо нулевото измерване. Наблюдаваните точки са стабилизирани в бетоновите рамки и промените на разстоянията между точките показват наличието на деформационен процес в наблюдаваните местоположения. Тези изменения показват сближенията на точки от крепежната конструкция в различните моменти на наблюдение.

За характеризирание на интензивността на процесите във времето и пространството са изчислени и скоростите на линейни изменения на диаметрите.

Изчисленията протичат в следната последователност:

- Определяне на пространственото изменение на линейните размери на наблюдаван диаметър от първоначалното (нулево) измерване, по формулата:

$$\Delta S = \sqrt{\Delta x^2 + \Delta y^2 + \Delta z^2} \quad (4)$$

където: Δx разликата между нулевото и съответното измерване по X; Δy по Y; Δz по Z.

- Определяне на скоростта на линейно изменение на ден:

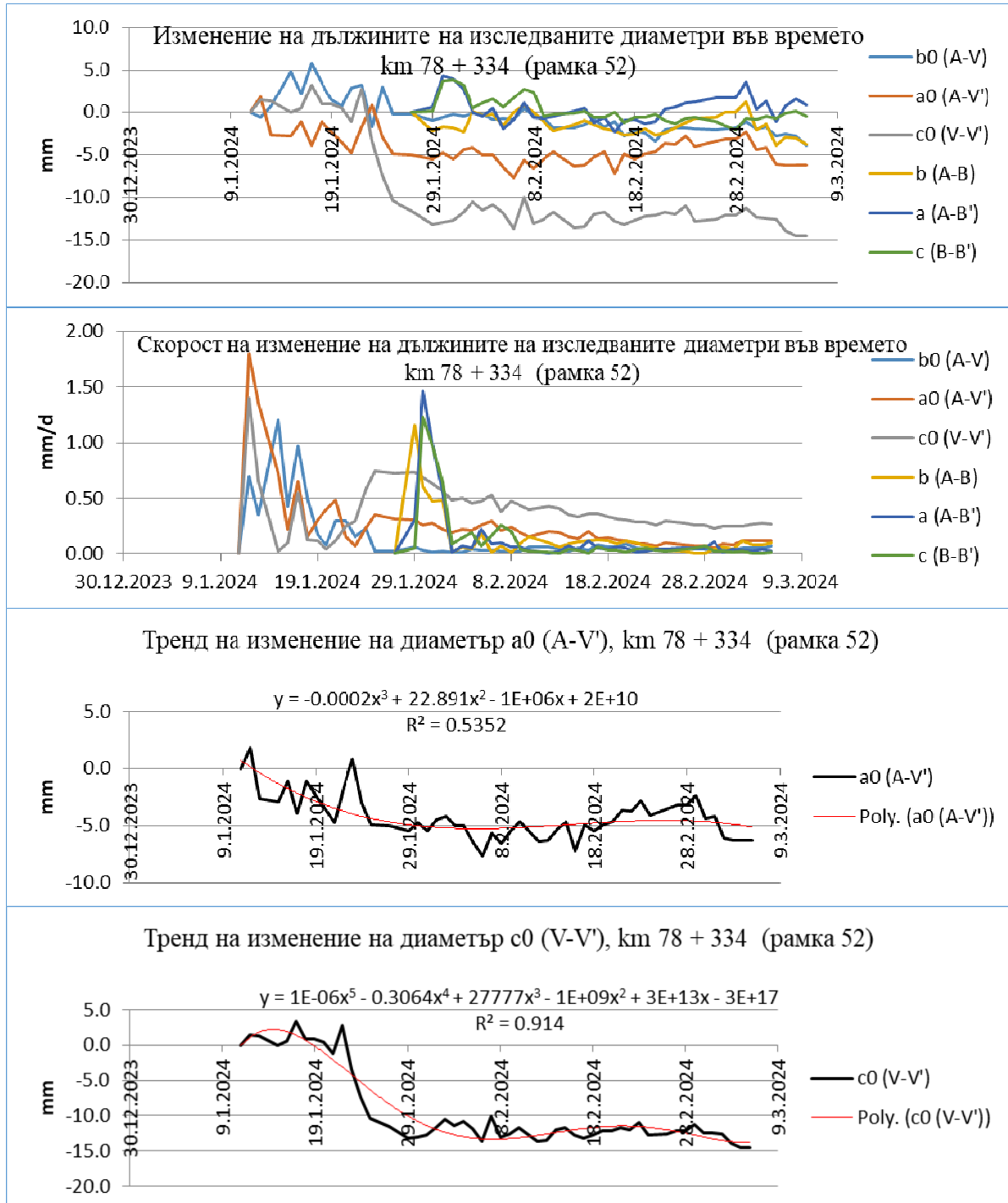
$$v_{I,1} = \frac{\Delta s}{\Delta t_{i,1}} \quad (5)$$

Въз основа на направените изчисления са построени следните графики:

- Графики на изменение и скорости на изменение на дължините на изследваните диаметри в сечението на Тунел № 11;
- Графики на тренда на изменение на дължините на изследваните диаметри с най-големи промени.

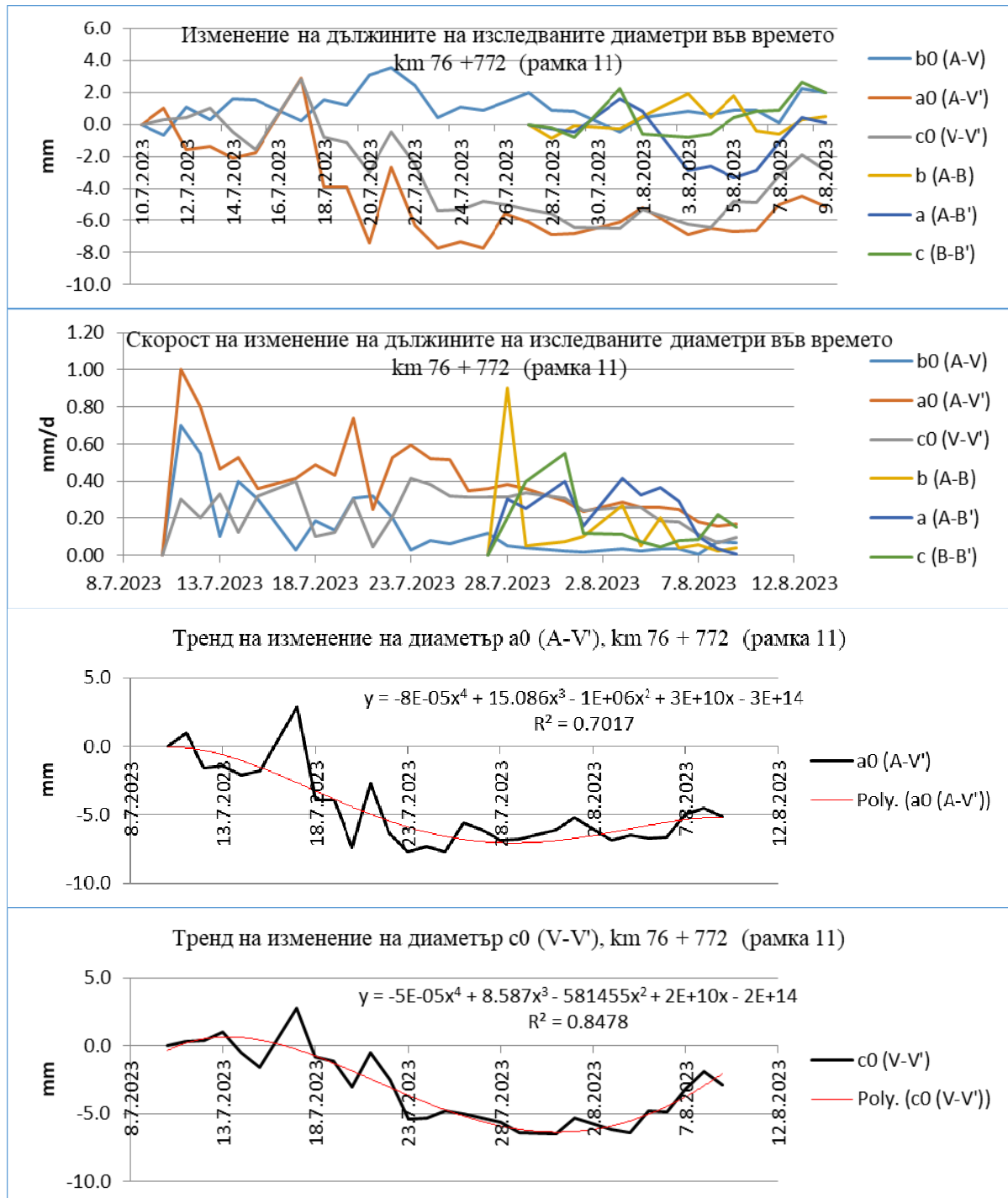
С оглед ограничението за размер на доклада, тук са показани само резултатите от наблюденията на първите рамки от двата участъка (рамка 52 и рамка 11), тъй като те са наблюдавани най-дълго във времето.

КИЛОМЕТРАЖ 78 + 334, РАМКА 52



Фиг. 10.

КИЛОМЕТРАЖ 76 + 772, РАМКА 11



Фиг. 11.

Анализ на резултатите от маркшайдерските наблюдения за следене устойчивостта на железопътен Тунел № 11

Изследвани са два участъка от тунел 11. Наблюдаваните точки, разположени на различни рамки на подходящи места, са пространствено определяни ежедневно за периода на изследване. По

показаната на фиг. 7 схема, са изчислявани дължините на диаметрите от сечението на тунела, както и техните изменения във времето.

Първият участък (KM 78 + 334 – KM 78 + 255) обхваща 8 рамки и е с дължина 79 m. Вторият – (KM 76 + 772 – KM 76 + 842), е с дължина 70 m и е с 5 рамки. Наблюденията са проведени в периода 11.01.2024 – 06.03.2024 (I-ви участък) и 10.07.2023 – 09.08.2023 (II-ри участък), като в тези интервали различните рамки са се намирили на различни отстояния от челото на забоя и в различни моменти от прокарването на тунела (първо е прокарвана горната, арковидна част от сечението, а по-късно – долната).

Въз основа на данните от измерванията са съставени графики на измененията във времето на линейните размери на диаметрите на изследваните рамки (фиг. 10 и фиг. 11).

На същите фигури са определени уравненията на линиите на развитие (тренд) за диаметрите с най-големи линейни изменения, със съответните им оценки R^2 .

Анализирайки графичните и табличните резултати, може да се направят следните изводи и препоръки:

- Най-големите линейни изменения се наблюдават в диаметрите A-V', V-V' и A-V, и трите разположени в арковидната част на профила;
- Около 8-10 дни след поставяне на рамките се установява развитие на деформационен процес, изразяващ се в намаляване на размерите на посочените диаметри (сближение на точките). Това се обяснява с въздействие на околния масив върху рамките (натиск), след уплътняване на празното пространство зад крепежа. Роля върху тези прояви играе и геоложката характеристика на скалния масив около сечението на тунела;
- Същото се наблюдава и в долната част на сечението, но е изразено в по-малка степен;
- След първоначалните няколко дни, когато скоростите на сближение са от порядъка на 2,0-5,0 mm/d, в следващите дни до края на наблюденията, скоростта остава почти постоянна, което означава, че деформационният процес не затихва. Това предполага да се извършват по-продължителни наблюдения до установяване на равновесие в системата крепеж-скален масив;
- Почти не се наблюдава удължаване на хоризонталните диаметри, което показва посилен страничен натиск, отколкото вертикален;
- В началния етап след поставяне на рамките, тренд-линиите на сближение са от по-ниска степен, което се обяснява с еднопосочното движение на масива към рамките. В по-късен етап степента им се повишава и характеризират по-сложното взаимодействие на крепежа и масива;
- Поради променящия се характер на деформационния процес във времето и различните му прояви в отделни зони на тунела, е необходимо след всяко измерване да се определя новият му математически модел. Въз основа на него да се прогнозира бъдещи стойности на сближение в изследваните конструктивни елементи на тунела.

Изводи

Инженерните съоръжения не са неподвижни, както и части от земната повърхност около тях. Те променят своето първоначално положение в пространството под влияние на:

1) Природни фактори – промяна на физическите и химичните свойства на скалите, подпочвени води, температурни промени, земетресения и т.н.

2) Фактори от човешката дейност – минни работи, големи изкопи и насипи и т.н.

Някои от тези промени, както и тяхната големина, се предвиждат от конструкторите и проектантите, а други са непредвидими. И в двата случая те не трябва да надвишават определени допустими граници. В противен случай може да настъпи разрушаване на съоръжението, което да доведе до сериозни материални щети, понякога и до човешки жертви.

За определяне на размера и изменението на деформациите във времето, е необходимо да се провеждат инженерно-геоложки, хидроложки, климатични и други проучвания, както и наблюдения и



измервания. Следят се характерни точки от обектите като се определят периодично или непрекъснато трите проекции на вектора на преместването им (ΔX , ΔY , ΔH).

Практическото значение на изследването на деформации се свежда до следното:

1. Чрез периодично изследване на деформациите се следи поведението на обекта и се преценява неговата устойчивост чрез сравняване на получените стойности с допустимите. Когато деформациите са близки по големина до допустимите, се вземат мерки за недопускане на аварийна ситуация.

2. Чрез определените деформации се проверява точността на предвидените от проектанта стойности на очаквани деформации.

3. Определя се срокът за експлоатация на обекта въз основа на прогнозираното поведение на деформационния процес.

Всичко това определя значимото място на маркшайдерското обслужване при строителството на голямо строително съоръжение като железопътен Тунел № 11 на обект „Костенец – Септември“, по проект „Модернизация на железопътния транспорт“.

Литература

1. Геоложки доклад на обект „Костенец – Септември“, по проект „Модернизация на железопътния транспорт“.
2. Инженерно-технически проект на обект „Костенец – Септември“, по проект „Модернизация на железопътния транспорт“.
3. Инструкция за изследване на деформациите на сгради и съоръжения чрез геодезически методи, Комитет по архитектура и благоустройство - Главно управление по геодезия, картография и кадастър, 1980 г.
4. Наредба № РД-02-20-2 от 21 декември 2015 г. за технически правила и норми за проектиране на пътни тунели.