

СЪПОСТАВКА МЕЖДУ ЩИТОВ МЕТОД И НОВ АВСТРИЙСКИ МЕТОД ПРИ ИЗГРАЖДАНЕ НА ТУНЕЛИТЕ ПО ВТОРИ МЕТРОДИАМЕТЪР НА МЕТРОПОЛИТЕНА В СОФИЯ

Невена БАБУНСКА, Георги ГЕОРГИЕВ, Цветомир ЦВЕТКОВ
babunska_n@abv.bg, georgiev_georgi_2000@yahoo.com, cvet_cvet2000@abv.bg

Невена Бабунска, ас. инж., ВТУ "Тодор Каблешков, 1574 София, ул. "Гео Милев" №158, Георги Георгиев, инж., МГУ "Св. Иван Рилски", София, "Студентски град", ул. "Христо Ботев", Цветомир Цветков, студент, спец. "Транспортно строителство", ВТУ "Тодор Каблешков, София, БЪЛГАРИЯ

Резюме: В статията са представени общи сведения за: участъка пътен възел "Надежда" – "Централна гара" – пл. "Света Неделя" – бул. "Черни връх", щитов метод и нов австрийски метод. Направена е съпоставка между двата метода за условията на втори метродиаметър на Софийския метрополитен. Съпоставката е в зависимост от инженерно-геоложките условия и технологията на изграждане на тунелите.

Ключови думи: втори метродиаметър, метрополитен, щитов метод, нов австрийски метод, тунели

ВЪВЕДЕНИЕ

На 2 юли 2007 година Министерството на транспорта утвърди тръжната документация за избор на главен изпълнител на втори метродиаметър в участъка пътен възел "Надежда" – "Централна гара" – пл. "Св. Неделя" – бул. "Черни връх". Строителството трябва да започне през 2008 г. и да приключи до 45 месеца, или в края на 2011 г.

Втори метродиаметър започва от кв. "Обеля" и завършва в кв. "Хладилника" с едно разклонение до кв. "Илиянци" с обща дължина 18 km и 15 станции.

Началото на разглеждания участък е от надлез "Надежда" на km 3⁺⁷⁵⁰ (началото на километража е от първата станция "Обеля" на първи метродиаметър), а краят на km 10⁺⁵⁰⁰ в кв. "Лозенец".

Метро трасето е с обща дължина $L=6748.405$ m, по ос десен коловоз от km 3⁺⁷⁵⁰ до km 10^{+495.405}.

Цялото трасе е проектирано подземно. Тунелите са тип двупътен с външен диаметър 9.07 m.

Идейният проект за изграждане на втори метродиаметър в разглеждания участък (част: Трасе, станции и профили), като има предвид, че тунелите и станциите са разположени в централната градска част с най-интензивното движение, предлага методи на строителство, които най-малко ще предизвикат проблеми в нормалния живот на хората и транспорта.

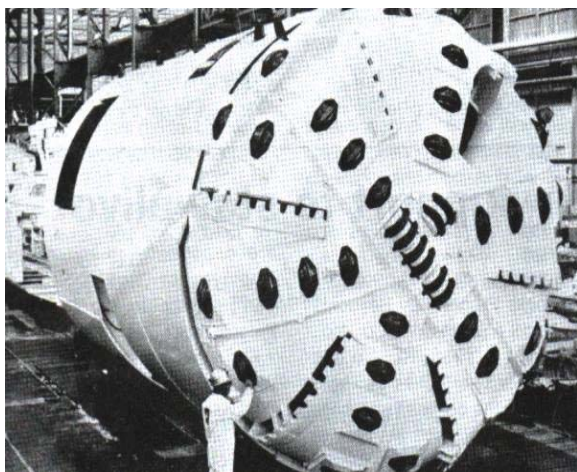
Предложеният вариант предвижда тунелите да се изградят подземно с механизирани щит, който ще премине по трасето от надлез "Надежда" до бул. "Патриарх Евтимий", където ще бъде изваден. При съответна обосновка от страна на изпълнителят и гаранция за размера на последиците в резултат от промяна метода на изпълнение в рамките на нормативите по които е изготвен проекта, участъкът може да бъде изграден и по нов австрийски метод. Участъкът от метростанция (МС) 9 до МС 10 е изграден.

От МС 10 до МС 11 тунелът ще се изгради по нов австрийски метод или по щитов метод. В следващата фаза на проектиране следва да

се направи анализ за сравнение на двата метода и да се избере оптималния [6].

ОБЩИ СВЕДЕНИЯ ЗА ЩИТОВ И НОВ АВСТРИЙСКИ МЕТОД

При изграждането на метрополитени по закрит начин се прилага предимно щитовият метод, при който тунелите се строят с помощта и под защита на машинен комплекс, наричан щит (фиг.1).



Фиг. 1

Щитът представлява стоманена тръба, която може да се придвижва напред с помощта на хидравлични преси.

Формата на напречното сечение на щита съответства на сечението на облицовката и може да бъде кръгла, правоъгълна, сводова, елипсовидна и със сложно очертание. Освен това съществуват и полущитове със сечение, равно само на една част от напречното сечение на тунела. В метростроенето приложение намират предимно кръглите щитове и полущитове, като кръглите се прилагат при строителството на участъкови и станционни тунели, а полущитовете – на станционни тунели.

В зависимост от размера на напречното сечение щитовете се делят на три групи: малки – с диаметър до 3.5 m; средни – с диаметър от 3.5 до 6.5 m; големи – с диаметър над 6.5 m.

Вътрешният диаметър на щита е по-голям от външния диаметър на облицовката с 0.8 до 1.0 %, като свободното пространство между щита и облицовката е най-голямо в ключа и постепенно намалява до нула в средата на дъното. Това е необходимо с оглед на преминаването на щита през хоризонтални и

вертикални криви на трасето, а също така за изправяне на малки отклонения от проектната ос [8].

В зависимост от начина на разработване на почвите щитовете се делят на немеханизираните и механизирани. При немеханизираните щитове разработването на почвите се извършва ръчно или с механизирани инструменти, а при механизирани – със специален работен орган от роторен тип, механизирани виброплощадки и др.

Механизираните щитове намират най-голямо приложение в метростроителството. Те се използват при изграждането на почти всички участъкови тунели по закрит начин, а в отделни случаи – и на станционни тунели.

В момента с механизирани щит се изгражда участъка от пл. “Св. Неделя” до бул. “Драган Цанков” на първи метродиаметър.

В конструктивно отношение механизирани щитове се състоят от ножов пръстен, опорен пръстен и опашна черупка. Ножовият пръстен служи за профилиране на контура на разработката. В тази част на щита са монтирани приспособленията и механизмите за разработване на почвите, които при различните марки щитове имат различно решение – от механизирани виброплощадки (за зърнести почви) до затворени план шайби (в неустойчиви почви). Опорният пръстен служи за закрепване и опирание на хидравличните преси, разположени по периферията му. Опашната част служи за защита на пространството, където се монтира поредния пръстен или се бетонира поредната секция на облицовката, посредством разположените в тази част монтажни и бетониращи устройства.

Новият австрийски метод е разработен между 1957 и 1965 г. от австрийските инженери Леополд Мюлер, Ладислаус фон Рабцевич и Франц Пахер.

През 1980 г. Австрийският национален комитет за подземно строителство предлага официална дефиниция: “Новият австрийски метод е една концепция, според която скалите или почвите около напречното сечение на изработката чрез активирание на един носещ скален (земен) пръстен се превръщат в носещ строителен елемент”.

Основната идея на метода е да се подпомогне по изкуствен начин оформянето на защитна зона около подземния изкоп и превръщането на масива от натоварваща в носеща среда. Това се постига чрез

използването на деформируем крепеж, чрез който се създава възможност за деформиране на подземната изработка. Вследствие на тези деформации (от порядъка на милиметри) се получава преразпределение на напреженията в масива и се подпомага образуването на облекчителен свод. Този процес се проследява чрез измерване на радиалните деформации. Затихването им означава, че е настъпило равновесно състояние и масива е поел носещите си функции. За постигането на това равновесно състояние при слаби скали е наложително да бъде изпълнена във възможно най-къс срок обратният свод на облицовката.

От изложеното до тук следва, че за изпълнението на новия австрийски метод обезателно трябва да се спазват следните изисквания:

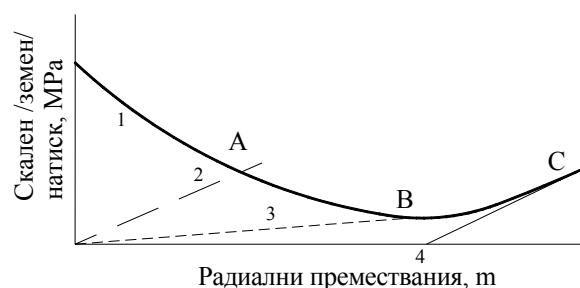
- отчитане на геомеханичните свойства на скалите (почвите);
- избягване на неизгодни напрегнато – деформирани състояния чрез своевременно извършване на подходящо защитно укрепване;
- своевременно изграждане на обратен свод, което дава възможност на носещия скален пръстен да изпълнява функцията на затворена тръба;
- оптимизиране на носещата способност на крепежа в зависимост от допустимите деформации;
- технически измервания с цел наблюдение и контрол на оптимизирането.

Параметрите на крепежната конструкция се коригират с помощта на *in situ* наблюдения по време на строителството, като се използва експерименталната крива на скалния натиск на Пахер, чийто общ вид е показан на фиг.2.

С увеличаване на радиалните премествания на скалния контур (и на облицовката) натискът първоначално намалява, достига минимална стойност (т.В, фиг.2), след което нараства. Равновесното състояние се установява при пресичане на линията на носещата способност на крепежа с кривата на скалния (земния) натиск. Ако облицовката е корава, това състояние се достига твърде рано (линия 2, т. А, Фиг.2). Обратно ако крепежът е с голяма податливост или е изграден с изоставане на забоя, след като скалният (земният) контур е претърпял големи деформации равновесното състояние се установява твърде късно (линия 4, т. С, Фиг.2). Линията на правилно избраната облицовка следва да пресече низходящия

клон (АВ, фиг.2) на кривата на скалния (земния) натиск в непосредствена близост до минималната му стойност (т.В). Пресичането на този клон води до устойчиво равновесно състояние, а на възходящия ВС – до неустойчиво. В първия случай минималните допълнителни деформации на крепежната конструкция предизвикват намаляване на скалния (земния) натиск, а във втория – увеличаване [7].

По новият австрийски метод са построени редица подземни съоръжения – метрата във Виена, Мюнхен, Франкфурт и др.; Шейканският тунел (53 km), свързващ островите Хоншу и Хокайдо в Япония; тунелът под протока Ламанш, прокаран от страната на Англия и др.



Фиг. 2

1-Крива на скалния (земния) натиск на Пахер; 2, 3 и 4 – линии на нарастване носещата способност на крепежа

СЪПОСТАВКА МЕЖДУ ЩИТОВ И НОВ АВСТРИЙСКИ МЕТОД

В зависимост от инженерно – геоложките условия

Геолого-литоложките разновидности, които изграждат земната основа до скалната подложка на участъка от пътен възел “Надежда” до бул. “Черни връх” са следните:

- Пласт 1 – Черни органични глини (смолници) и съвременни техногенни насипи с пъстър състав – глини, пясъци, чакъли, строителни и битови отпадъци.
- Пласт 2 – Делувиални глини, пясъчливи и прахово – пясъчливи, в твърдо пластична консистенция, кафяви на места с варовити включения и дребни чакъли.
- Пласт 2а – Алувиални чакъли, едро до среднозърнести с пясъчлив запълнител.
- Пласт 3 и 4 – Плиоценски глини, прахови и прахово – пясъчливи, на места с пясъчни

лещи. Консистенцията им е средно пластична до твърдо пластична.

□ Пласт 5 – Плиоценски чакъли, предимно средно зърнести с песъкливо – глинест запълнител.

□ Пласт 6-1 – Плиоценски пясъци, средно и едрозърнести, в различна степен заглинени, сивожълти.

□ Пласт 6-2 – Плиоценски пясъци, дребнозърнести, заглинени, слоисти, често със значително съдържание и частици от слюда.

□ Пласт 7 – Плиоценски глини, прахови, тъмносиви или маслено зелени, плътни. Твърдо пластични и по-рядко средно до твърдо пластични. Набъбващи.

□ Пласт 8 – Плиоценски глинести, пясъци, водонаситени, фини с голямо съдържание на прахова фракция (до 90 %) и мусковит.

□ Пласт 9 – Алевритоподобни пясъци с глинеста spojка (визуално определяне). При лабораторното им изследване реагират като твърдо пластични глини, заради повишеното съдържание на прахова и глинеста фракция.

□ Пласт 11 – Прахови глини със съдържание на прахова фракция от 50 до 90 % и по-рядко прахово – песъчливи. Предимно са в полутвърда и твърда консистенция.

Описаните геолого-литоложки разновидности, изграждащи земната основа могат да бъдат отнесени към слабите и неустойчиви почви с коефициент на здравина по Протодяконов под 1,5. Във връзка с това по-рационално е прилагането на щитовия метод, който се използва в слаби, пластични, устойчиви почви и почви със зърнеста структура. Механизираните щитове, прилагани в метростроенето са предимно с кръгло сечение и с определен диаметър от фирмите производителки.

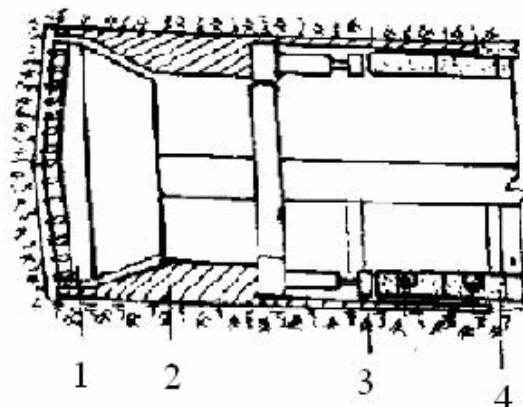
Новият австрийски метод се прилага при масиви с произволна здравина и произволни размери на напречното сечение на тунела, като е необходимо покритието на изработката да бъде достатъчно за оформяне на облекчителния свод.

При прокарването на тунели в населени места от изключително значение е да бъдат избегнати всякакви слягания на пътното платно, сградите и съоръженията в близост до тунела.

Щитовият метод позволява изпълнението на тунели в населени места без опасност от повреждане на сградите и съоръженията, граничещи с тунела.

В зависимост от технологията на изграждане на тунелите

Технологичната последователност при изграждането на участъкови тунели със сглобяеми облицовки по щитов метод (фиг. 3) е следната: разработват се почвите от забоя с помощта на механизирани работни органи (1) – с планетарно, роторно, планшайбно действие или с виброплощадки; почвите при разработването падат в долната ножова част, откъдето се поемат от транспортна лента, минаваща по оста на щита и се товарят в задната му част на вагонетки; едновременно с това в задната част под защита на опашната черупка (3) с помощта на тубинго - или блокмонтажен агрегат се монтира пръстен от облицовката (4); разработката от забоя до готовата облицовка след щита се поддържа от металния цилиндър на корпуса му (2); хидравличните крикове се намират в прибрано положение към диафрагмата на опорния пръстен. След разработване на почвите и монтиране на поредния пръстен от облицовката в хидравличната система на криковете се подава налягане и те се притискат към челото на последния пръстен. С увеличаване на налягането в хидравличната система криковете притискат пръстена към готовата облицовка и едновременно с това избутват комплекса напред. При това придвижване ножа профилира разработената част от забоя с очертание съответстващо на очертанието на металния цилиндър на корпуса. Стъпката на придвижване на щита за един цикъл е кратна на широчината на пръстена на облицовката.



Фиг. 3

Схема на щитов комплекс при изграждането на сглобяеми облицовки

След като щита е придвижен в новото си работно положение, криковите се прибират напред и освобождават място за монтиране на следващия пръстен от облицовката. В предната част започва разработването на почвите и това се повтаря при всеки следващ цикъл [2].

При изграждането на тунелите по нов австрийски метод, същите могат да се изпълнят на пълен профил или по части.

Представена е технология за прокопаване на участъкови тунели по части (изкопния профил се дели на две части: калота - горна подсводова част и щрос - долна част), като се спазва следната последователност: изкоп на калота; натоварване и извозване на земните маси от калота; изпълнение на първична облицовка в калотата; изкоп на щрос; натоварване и извозване на земните маси от щроса; изпълнение на първична облицовка в щроса; изграждане на обратен свод (изкопаване и бетониране); полагане на хидроизолация (при необходимост); изграждане на постоянна облицовка; спомагателни работи.

При изкопаването калотата изпреварва щроса на дължина, необходима за поместване на строителната механизация.

Изкопаването на калотата и натоварването на земните маси може да бъде извършено с тунелен багер. Извозването на същите се предлага да бъде изпълнено с автосамосвали. След разтоварването на земните маси на депо се извършва разриването им с булдозер.

При новият австрийски метод първичната облицовка се изпълнява от деформируем крепеж: анкери, стоманени дъгови рамки и пръскан бетон. Ако същата се изгражда от комбиниран крепеж (анкери и неармиран или

армиран пръскан бетон) са необходими: бетоновоз за готова смес, машина за пръскан бетон, анкерна машина. При необходимост се монтират стоманени рамки в съчетание с пръскан бетон. Същият се армира със стоманена мрежа.

По време на строителството на тунела се извършват измервания на деформациите с прецизна апаратура или геодезически инструменти.

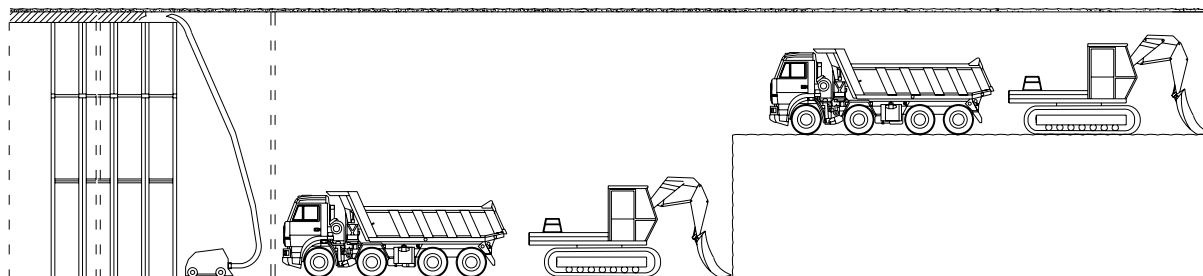
При щроса последователността на описаните работи е същата. Изкопаването на обратния свод се извършва с тунелен багер, а за бетонирането му са необходими: кофраж, бетоновоз, бетонпомпа и вибратори.

Бетонирането на постоянната облицовка е в същата последователност, както при обратния свод.

При строителството на тунели трябва да се извършват и редица спомагателни работи, които имат преди всичко за задача да създадат нормални условия за работещите под земята. Тези работи се извършват едновременно с основните (изброените по-горе) и не влияят върху продължителността на цикъла. Към тях се отнасят: вентилация, отводняване, осветление и енергоснабдяване на тунела по време на строителство.

На фиг. 4 е показана принципна схема за изграждане на участъкови тунели по нов австрийски метод на части.

На схемата са онагледени следните основни видове работи: изкоп на калота с тунелен багер; извозване на изкопаните земни маси с автосамосвал; изкоп на щрос с тунелен багер; извозване на изкопаните земни маси с автосамосвал; изпълнение на кофраж и бетониране на постоянната облицовка.



Фиг. 4. Принципна технологична схема за изграждане на участъков тунел по нов австрийски метод

От описаните технологии могат да бъдат направени следните изводи:

□ При щитовия метод основните видове работи (изкопаване на забоя, отстраняване на

земната (скалната) маса и изграждане на облицовката) се изпълняват едновременно, което осигурява необходимата поточност и позволява незабавно облицоване на тунела.

□ При новия австрийски метод изкопаването на забоя може да се изпълни на пълен профил или на части, като едновременно с това се изгражда първичната облицовка. Постоянната (вторичната) облицовка се изпълнява впоследствие, след затихване на деформациите.

□ При щитовият метод значително се увеличава скоростта на пробива в сравнение с новия австрийски метод. За условията на Софийското метро средният дневен напредък на щита е от порядъка на 8 метра, докато при новия австрийски метод напредъка е 2 метра.

□ При щитовият метод се свежда до минимум броят на заангажираните работници при пълно изключване на ръчния труд.

В зависимост от икономическите условия

Не е направено остойностяване на отделните методи, поради недостиг на класифицирана информация. Но в световен аспект икономически по-целесъобразен е новият австрийски метод, което се дължи на следното:

□ високата стойност на щитовете, а също така и високата трудоемкост на транспортните и на монтажните работи, оскъпяват строителството;

□ щитовете са предназначени за определен диаметър на тунела, което не позволява гъвкавост при избора на механизация, което също води до оскъпяване на строителството.

Заклучение

Като се имат предвид сложните инженерно-геоложки условия и разположението на метротрасето в една от най-натоварените части на центъра на града е по-целесъобразно строителството да се извърши подземно по

щитов метод. Но световния опит показва, че в икономически аспект новия австрийски метод е значително по-евтин.

Изборът на метод има комплексен характер и изисква задълбочен анализ за сравнение с цел намиране на оптимално решение.

ЛИТЕРАТУРА:

[1] Братоев, С., Метростроителство, София, 1990

[2] Братоев, С., Плитко заложен метрополитени, София, 1987

[3] Георгиев, Л., Тунели, София, 2004

[4] Димитрова, Г., Строителство Градът, бр. 27, 09.07.2007

[5] Метропроект, Проект за разширение на метро София, Втори метродиаметър участък: Пътен възел "Надежда" – "Централна гара", "Св. Неделя" – бул. "Черни връх", Идеен проект, Раздел: Инженерна геология, София, май 2007

[6] Метропроект, Проект за разширение на метро София, Втори метродиаметър участък: Пътен възел "Надежда" – "Централна гара", "Св. Неделя" – бул. "Черни връх", Идеен проект, Раздел: Трасе, станции и профили, София, февруари 2007

[7] Русев, Пл., Научен диспут за новия австрийски метод за тунелно строителство, Минно дело и геология, 1997/5

[8] Тотев, Й., Тотев, Ю., Тунели, София, 2005

[9] Karakus M, Fowell R.J., An insight into the New Austrian Tunnelling Method (NATM), Rockmec 2004 – VIIth Regional Rock Mechanics Symposium 2004, Sivas, Turkey

COMPARISON BETWEEN SHIELD METHOD AND NEW AUSTRIAN TUNNELLING METHOD FOR CONSTRUCTION OF THE TUNNELS ALONG THE SECOND METRO DIAMETER OF THE METROPOLITAN IN SOFIA

**Nevena Babunska, Cvetomir Cvetkov Higher School Of Transport
Georgi Georgiev University Of Mining Geology**

Abstract: *This paper presents a common information for the section road junction "Nadezda" – "Central station" – square "Sv. Nedelia" – bul. "Cherni Vrah", shield method, New Austrian Tunnelling Method. The comparison between two methods has been done for the conditions of the second metro diameter of the Sofia metropolitan. This comparison is in dependence of the engineering-geological conditions and technology for tunnel construction.*

Key words: *second metro diameter, metropolitan, shield method, New Austrian Tunnelling Method, tunnels*