

ОСОБЕНОСТИ ПРИ ИЗГРАЖДАНЕ НА МЕТРОПОЛИТЕНИ

Стойна Любенова Костова

kostova.stoyna@gmail.com

*Висше транспортно училище “Тодор Каблешков”,
София, ул. „Гео Милев” № 158,
БЪЛГАРИЯ*

Ключови думи: метрополитен, тунел, милански способ, открит способ, метод на предпазен щит, нов Австрийски метод.

Резюме: В нашата столица по последни данни живеят 1,3 млн. жители. За по-удобно и бързо предвижване на жителите на града, започна изграждането на един от най-съвременните метрополитени в Европа. Изграждането на тунелите на метрото е отговорна и сложна инженерна задача. Специалистите трябва да преодолеят различни и много на брой предизвикателства, част от които са свързани с геоложките характеристики на терена, водното ниво, преминаване под реки, под съществуващи сгради и конструкции, под пътища и комуникации, намиращи се на повърхността, със наличното към момента оборудване и машини. И всичко това трябва да бъде направено в предписания срок, и разбира се, с гаранция за бъдеща безопасна и надеждна работа. Статията разглежда методите, използвани за изграждане на метрополитени и тези, които са приложени по време на строителството на софийското метро. Приложени са основно четири метода на изграждане: класически - по открит способ; така наречения „Милански” метод; метод със защитен щит, и нов австрийски тунелен метод. Показани са основните характеристики на тези методи и прилаганите геотехнически конструкции за изграждането им. Дадени са особеностите на тунелопробиването. Показан е технологичният ред за изграждане на тунелите при различните методи. Подчертани са предимствата и недостатъците на използваните методи в зависимост от съществуващите условия. Анализирани са различните методи и прилагането им в зависимост от съществуващите геотехнически условия.

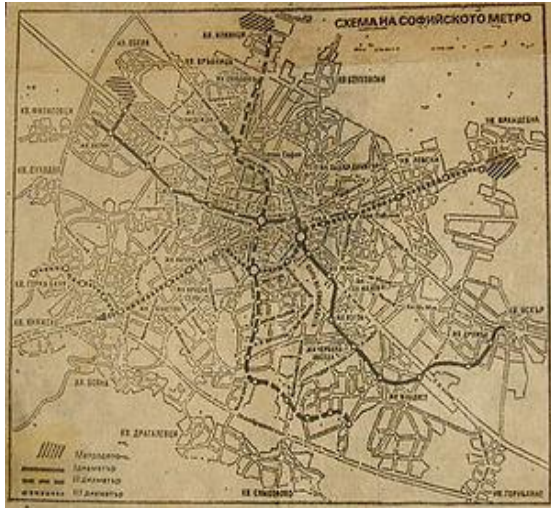
I. УВОД

Седемдесет процента от европейското население живее в градове и градски райони. Градовете са икономически, социални и културни центрове на европейските страни. Европа има само малък брой много големи столични региони, като Лондон, Париж, Прага, Москва. В повечето градски райони живеят между 0,5 и 4 млн. души.

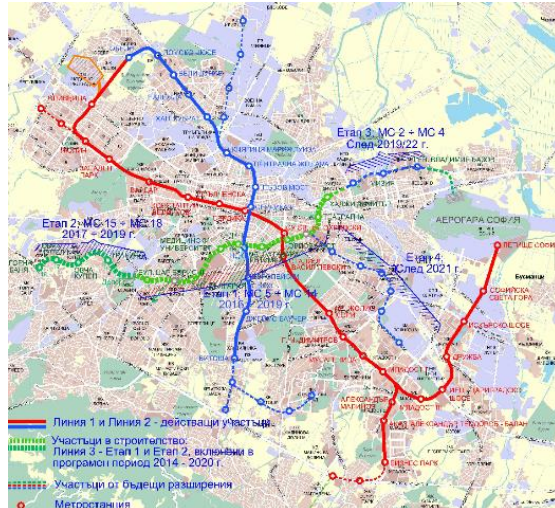
Изграждането на тунелите на метрото е отговорна и трудна инженерна задача. Експертите трябва да решават редица сложни задачи, свързани с геоложките условия и запазването на сградите и транспортната инфраструктура на повърхността. Сроковете

на изграждане са от съществено значение, доколкото строежите са в урбанизирани зони и се засяга общественото придвижване и комфорт.

Първото решение за изграждане на някакъв подземен транспорт в България е взето през 1968г., когато София има 600 000 жители. Започват изследвания и след това през 1972г. е приет технико-икономически доклад за строителството на метрополитен на столицата. Общината одобрява схемата на метрото (фиг.1).



Фиг. 1. Една от първите схеми на софийското метро, 1981г.



Фиг.2. Текуща схема на софийското метро през 2020 г. (Метро линия 1 и 2 пълни линии; пунктирна линия показваща участък в процес на изграждане)

Изграждането на първия диаметър на метрото започва през 1979 г., съгласно правителствено решение и документи. Първите метростанции са построени между 1979-1991 г. Това са станции „Люлин” и „Вардар”. Република България стана член на Европейския съюз на 01.01.2007г. Оттогава изграждането на метрото започва да се развива с бързи темпове. Относно развитието на метрото виж също[1][2].

Както се вижда от (фиг.1) и (фиг.2) настоящите линии на метрото са в почти същите посоки, както в първоначалната схема. На фиг.2 са показани метродиаметрите, които са изградени досега. Метро диаметър 1 е в посока югоизток-северозапад. Строежът започва през 1979г. Той има общо 23 станции и дължина 28km. Метро диаметър 2 е в посока юг-северозапад. Строежът започва през 1980г. Първите спирки и част от тунелите са изградени по време на изграждането на НДК. Метро линия 3 се развива от североизток до югозапад - в зелен цвят. Изграждането на линията започна през 2015г. Досега метрото в София има две линии, с обща дължина 40km и 35 станции [3]. Тринадесет от тях са общи и за двете линии.

II. ОСНОВНИ МЕТОДИ ЗА ИЗГРАЖДАНЕ НА МЕТРОПОЛИТЕНИ

По време на изграждането на метрото в София бяха внедрени в Българската строителна практика и приложени четири известни метода за изграждане.

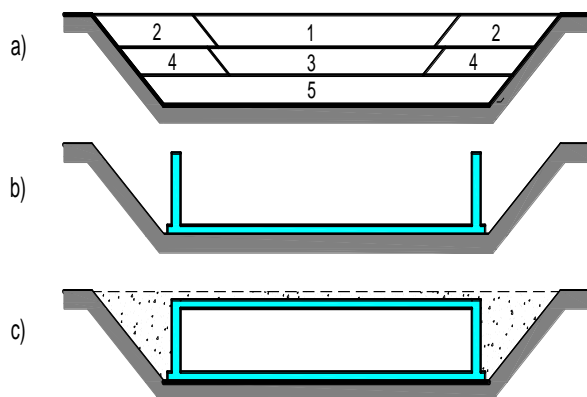
2.1. Класически метод по открит способ

Този метод може да се извърши в два варианта - със или без укрепване на страничните стени на изкопа.

а) Отворени ями - с откоси без укрепване

Когато в близост до трасето на метрото няма сгради или има открити пространства, е възможно да се изкопаят открити ями с наклонени стени. Етапите на изкопа са показани на (фиг.3а). След изкопаването на изкопа или ямата започва

изграждането на скелета за тунелите и станциите на метрото. Основите и конструкциите на стените са направени от стоманобетон. Повечето станции от първия метродиаметър са изградени в ями с наклонени стени. Наклонът на откосите е според типа на почвата. Склоновете не са укрепени. След направата на ограждащата конструкция и горната плоча започва обратното засипване (фиг.3с). Този метод е много бърз и лесен за осъществяване.



Фиг.3. Технологична последователност на строителство по класически метод:
а) етапи на изкопаване; б) изграждане на ограждащата конструкция; в) засипване

б) Открити ями с укрепване

Конструкцията на тунелите е изградена в укрепените ями. В някои случаи страничната носеща конструкция е част от конструкцията на станцията. В други случаи се изграждат отделни вътрешни носещи конструкции.



Фиг.4. Укрепване тип „Берлинска стена“ - Метални колони с дървени стени, използвана за укрепване на изкопите

Укрепващата конструкция може да бъде шпунтова стена (фиг.5), дървена стена, шлицова стена или пилотна стена. Разстоянието между пилотите варира и зависи от характеристиките на почвата. Дървените стени са подсилени с метални колони и греди, така нареченото укрепване тип „Берлинска стена“ (фиг. 4). При този метод първоначално се набиват метални колони напр. 2Т- профили в земята. За да се предотврати свличането на почвата, изкопаването се извършва на етапи – изкопава се първото ниво и се поставят дървените дъски, след това се копае второто ниво надолу и отново се поставят дървените дъски и така нататък. Този метод трябва да се прилага с внимание при пясъчливи почви. При високи водни нива, за укрепване на изкопаната яма, се прилага укрепваща конструкция от метални шпунтови стени. Водното ниво се понижава с помпи. На (фиг.5) е показано бетониране на тунелната плоча при укрепване

с шпунтови профили. Шпунтовите профили се набиват до определената по изчисления дълбочина. Набиването се извършва преди изкопаването на почвата в пространството между двете стени. За укрепване на шпунтовите стени се използват метални греди или при по-големи разстояния между шпунтовете, се поставят анкери зад тях.



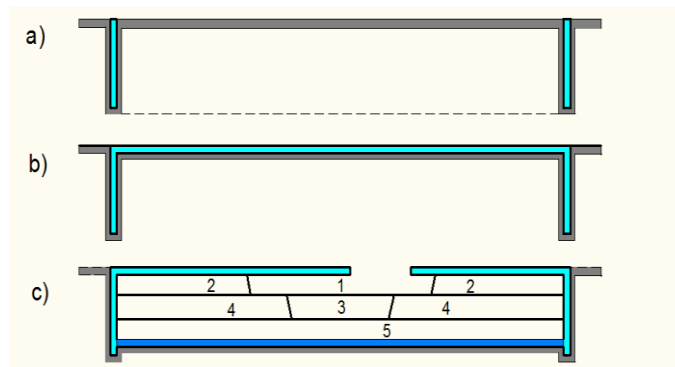
Фиг.5. Тунел в комплекс „Младост“ укрепен с шпунтови профили

Шлицови и пилотни стени се прилагат основно за укрепване на станциите, а също и за укрепване на тунелите. Армировъчният пакет на шлицовите стени или пилотите се спуска в предварително изкопавания в почвата отвор преди бетонирането.

Класическият открит способ с укрепване на откосите е използван за построяване отсечките на метрото от площад "Света Неделя" до жилищен комплекс "Люлин" и някои станции от пл. "Света Неделя" до жилищен комплекс "Младост". Този метод се прилага и за станциите от втори метродиаметър - „Централна гара“, пред НДК и др.

2.2. Милански метод

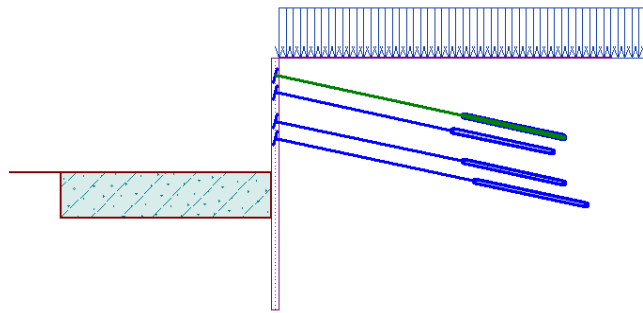
Този метод се прилага, когато се нуждаем от по-бързо възстановяване на повърхността над метрото. Технологичната последователност на строителството е следната: в посоката на стените на станциите и тунелите се изграждат шлицови стени.



Фиг.6. Технологична последователност на конструиране - Милански метод:
а) шлицови стени; б) изграждане на плочата; в) етапи на изкопаване

Отворите за шлицовите стени (фиг.6а) се изкопават в почвата от специални копаещи машини. За защита на почвените стени на отворите от разрушаване се инжектира бентонитов глиноземен разтвор. След това в тях се спуска предварително подготвен армировъчен пакет и стената се бетонира. Така изградените шлицови стени са външните стени на конструкцията на станциите или тунелите. Горната плоча на тунелите или метростанциите е подпряна на шлицовите стени.(фиг.6б). След бетониране на горната плоча зоната над нея се запълва и транспортният трафик се възстановява. Следващата стъпка е да се извършат изкопни работи под защитата на горната плоча и другите носещи елементи на конструкцията (фиг. 6с). На фиг.7 е

показана анкерирана шпунтова стена с височина 22m с четири реда анкери осигуряваща 10m свободно пространство за работа.



Фиг.7. Схема на шпунтова стена укрепена с анкери

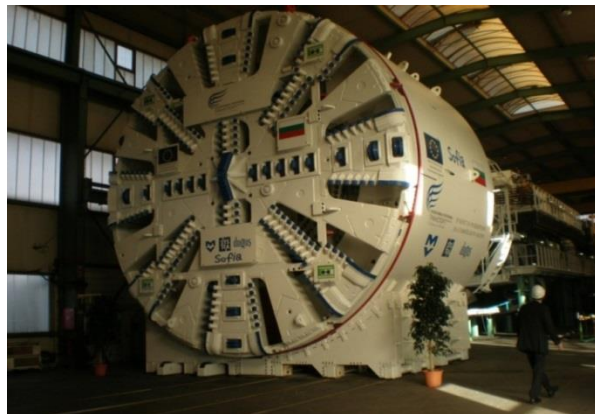
За да се сведе до минимум времето за спиране или ограничаване на движението по големите улици, този метод е използван при изграждането на станциите "Жолио Кюри" и "Г. М. Димитров" и част от тунелите близо до тези станции на софийското метро, при станциите: „Мария Луиза“, „Централна ж.п. гара“, „Джеймс Баучер“ и под Булевард „Черни връх“ и др.

2.3. Метод с механизирани щит

Методът с механизирани щит се прилага за изграждане на тунели в трудни геоложки условия и в централната част на града. Поради археологически находки в София и значителна дължина на тунелите, бяха използвани Тунело пробивни машини. Този метод се основава на механизирано изкопаване на почва от стоманен цилиндър, наречен щит. Частите на тунела се инсталират под защитата на този цилиндър. Тунелите са направени от сглобяеми сводови елементи. Те придават цилиндричната форма на тунела (фиг.8). Копаещата машина се движи чрез хидравлични крикове. Криковете стъпват върху готовия свод на тунела. Формата на напречното сечение на щита съответства на облицовката на тунела. В софийското метро е използван кръгъл щит.



Фиг.8. Тунел направен от тунело-пробивна машина



Фиг.9. Тунело-пробивна машина

В България тези машини са използвани за изкопаване на тунела на втората линия на метрото в София (фиг.9). Тунелът има две линии с вътрешен диаметър 8,43m. Археологическият слой е разположен на дълбочина 7m и този метод позволява на тунела на метрото да премине под него.

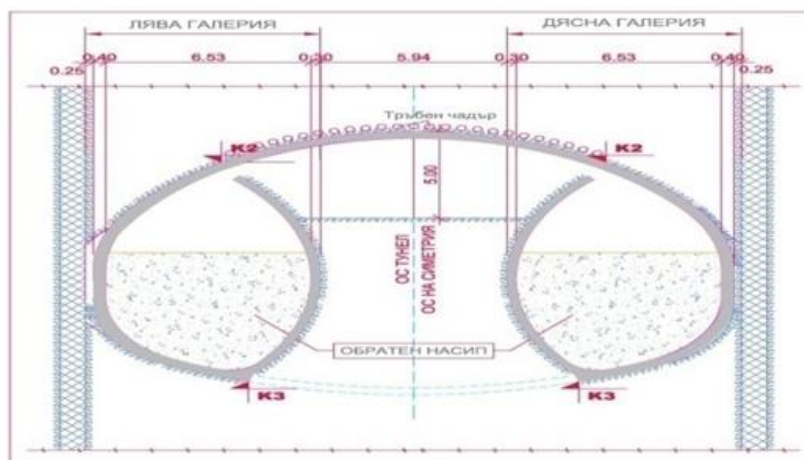
Поради значителната дълбочина на тунелите, този метод е приложен към участъка между площад "Св. Неделя" и стадион "Васил Левски", както и участъка "Пътен възел Надежда - улица Хан Аспарух" преди бул. "Патриарх Евтимий". Поради разположението на тунелите под подземните води се използват щитове с хидравлична

камера. Хидравличното налягане от щита е по-голямо от съществуващото околно налягане. Това позволява да се предпазят сградите и съоръженията, лежащи над тунела от разрушение. Към момента работят по третата линия. Диаметърът на новата ТПМ е 9,40m за двупосочен тунел. Средната скорост на копаене е около 25m/ден.

2.4. Нов австрийски метод за изграждане на тунели

Този метод се прилага ефективно в райони със значителна дълбочина и ограничен воден поток. Тунелът се изкопава на секции (фиг.10). Тунелът може да бъде напълно или частично изкопан, в зависимост от геоложките условия и след това да бъде подсилен. Изкопаната част от тунела се стабилизира с предварителна тунелна облицовка (черупка) [4]. Облицовката може да бъде изпълнена чрез торкретбетон, с или без анкери, която може да се оформи чрез специален подвижен кофраж. На следващия етап тунелът се изгражда вътре в предварителната облицовка.

Железопътните козовози на Софийското метро са проектирани и изпълнени със стоманобетонни траверси в гумени ботуши за намаляване на вибрациите [1].



Фиг.10. Нов австрийски метод

III. ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Инженерно-геоложките условия в които се изгражда Софийското метро са много трудни, поради по-високото водно ниво и наличието на слаби, обрушващи се земни пластовете. Проектиращите и изграждащите екипи успешно преодоляват тези трудности. Обектът се изпълнява в предвидените срокове, въпреки сложната геология, и интензивния трафик по централните софийски булеварди.

В столичния митрополитен се използват най-съвременни методи за изграждане и високо технологични машини и съоръжения. Настоящата статия показва особеностите на използваните методи при изграждане на метрополитени и в частност на Софийския.

ЛИТЕРАТУРА:

- [1] Братоев Ст., Софийски митрополитен, изд. Образование и наука ООД, ISBN 954-91420-1-9, София, 2004
- [2] Зафирова М., Организация и управление на строителството в условията на пазарно стопанство ISBN 978-954-12-0270-8, 2019
- [3] Официален сайт на метро София: <https://www.metropolitan.bg/>
- [4] Списание „Инфрабилд“, тунели, № 1, 2017.

SPECIFICS IN THE PROCES OF BUILDING OF METROPOLITANS

Stoyna Kostova

*Todor Kableshkov Higher School of Transport
158, Geo Milev str., Sofia 1574
BULGARIA*

Keywords: *metropolitan, city railway, tunnel, Milanese, open pit, top down, shield methods, new Austrian method.*

Abstract: *According to the latest data, 1.3 million people live in our capital. For more convenient and fast movement of the city's residents, the building of one of the most modern subways in Europe has begun. The construction of tunnels is responsible and challenging engineering task. The specialists have to overcome various obstacles associated with geological characteristics of the terrain, water level, under rivers, under existing buildings and structures, under roads and communication on the surface, with the currently available equipment and machines. And all this can be done within the prescribed terms, and of course, with a guarantee of future safe and reliable work. Article considers methods used for build subways and those that were applied during the construction of the Sofia metro. Four types of construction methods are mainly applied: classical open pit – method, Milanese method, shield method and new Austrian Tunneling Method. The main features of these different methods are shown. The used geotechnical structures are presented. The technological order for construction of tunnels in different methods is shown. The advantages and disadvantages of used methods depending on existing conditions are highlighted. Analyse of different methods and their implementation according to the geotechnical conditions are given.*