

ПРОИЗВОДСТВО НА СТОМАНОБЕТОННИ СЕГМЕНТИ ЗА ТУНЕЛНА ОБЛИЦОВКА ПРИ ИЗГРАЖДАНЕ НА СОФИЙСКИ МЕТРОПОЛИТЕН - ПЪРВИ МЕТРОДИАМЕТЪР

Павел Павлов¹, Любен Тотев², Борислав Борисов³

¹Минно-геоложки университет „Св. Иван Рилски”, 1700 София; pavel.pavlov@abv.bg

²Минно-геоложки университет „Св. Иван Рилски”, 1700 София; ltotev@abv.bg

³Минно-геоложки университет „Св. Иван Рилски”, 1700 София; bborisov32@yahoo.com

РЕЗЮМЕ. При изграждането на Първи метродиаметър от Софийски метрополитен е използвана тунелно-пробивна машина. С нея са изградени 3.47 km еднопътни метротунели, които са с облицовка от предварително изгответи стоманобетонни сегменти. В настоящият доклад е разгледан процеса на производство на сегментите – организация на производствената база, използвано оборудване, технология на производство, влагани материали, типове сегменти, техните характеристики, предназначение и др. Разгледани са и процесите по осигуряване и контрол на тяхното качество, както и възприетите методи за възстановяване на конструктивните елементи.

PRODUCTION OF PRE-CAST REINFORCED CONCRETE SEGMENTS FOR TUNNEL LINING DURING EXTENSION OF SOFIA'S METROPOLITAN - FIRST METRO DIAMETER

Pavel Pavlov¹, Lyuben Totev², Borislav Borisov³

¹University of Mining and Geology "St. Ivan Rilski ", Sofia 1700; pavel.pavlov@abv.bg

²University of Mining and Geology "St. Ivan Rilski ", Sofia 1700; ltotev@abv.bg

³University of Mining and Geology "St. Ivan Rilski ", Sofia 1700; bborisov32@yahoo.com

ABSTRACT. During the construction of the Sofia's metropolitan is used tunnel boring machine. Executed were 3.47 km one-way metro tunnels with tunnel lining of pre-cast reinforced concrete segments. This report considers the process of segments production – production base organization, used equipment, technology for production, used materials, types of segments, their characteristics, functions and etc. Scrutinized are processes of quality assurance and control during production process, also and the adopted methods for reparation of these structural elements.

Въведение

При изпълнението на проект за разширение на софийското метро, участък: пл. „Света Неделя“ – Национален стадион „Васил Левски“, бе взето решение тунелните проходки в централните градски части да се изпълнят с тунелно пробивна машина (ТПМ). След анализ на геотехническата обстановка се избра да бъде използвана ТПМ тип – с противоналягане в забойната камера. Избраната машина бе японско производство, марка JFE с външен диаметър от 5 820 mm [1]. Предстоеше предизвикателството за първи път в България да се реализира производството на стоманобетонните сегменти за тунелната облицовка на ТПМ тунелите.

Типове пръстени, според функционалното им предназначение

За укрепване на метро трасето се произвеждаха 5 типа пръстени. Те се подразделяха на следните типове – Т 1, Т 2, Т 2A, Т 3, Т 4. Типовете пръстени имаха следното предназначение [2]:

- Т 1 – стандартни пръстени с общо приложение. От своя страна те се подразделят на три вида – Т1 S (използвани при движение в права посока), Т1 R (предназначени за завиване надясно), Т1 L (използвани при завиване наляво).
- Т 2 – пръстени със специално предназначение за връзка с конструкциите на метростанциите и вентилационните уредби.
- Т 2A – пръстени предназначени за преход между стандартните и специалните пръстени.
- Т 3 – пръстени с предвидени метални отвори, с вентилационно предназначение.
- Т 4 - пръстени с временно предназначение, служат за преминаване на ТПМ в зоните на вентилационните уредби, след което се демонтират.

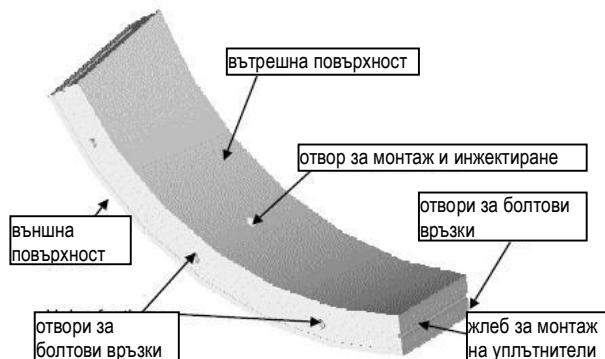
От своя страна всеки пръстен се състоеше от 6 броя сегменти. Сегментите на един пръстен са, както следва: тип А по 3 бр., тип В по 2 бр. и тип К по 1 бр. на пръстен. Сегментите са взаимно заклинващи се, като връзката между два сегмента се осъществява чрез специален детайл. Връзката между пръстените е на „вглъб и зъб“, чрез който се постига заклинването. По страничната повърхност на сегментите се поставят и специални ленти

за поемане на срязващите напрежения, а притягането се постига чрез временни болтове. Водонепроницаемостта на монтажните фуги между сегментите се постига чрез специални гумени уплътнители.

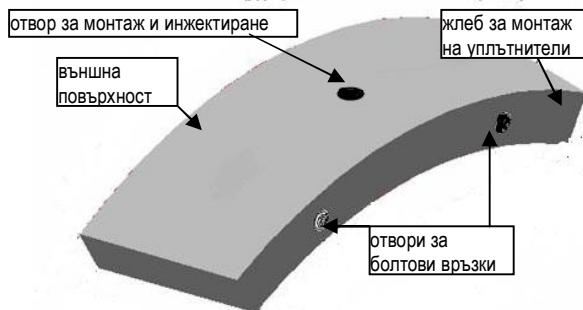
Пръстените притежават следните геометрични характеристики:

- външен диаметър – 5 670 mm;
- ширина – 1 400 mm;
- дебелина – 250 mm;

На фиг. 1 и фиг. 2 са показани сегменти, преди да бъдат окупелковани с уплътнители и ленти.



Фиг. 1. Стоманобетонен сегмент за тунелна облицовка – поглед отвътре [3].



Фиг. 2. Стоманобетонен сегмент за тунелна облицовка – поглед отвън [3].

Организация на производствената база и използвано оборудване

Производството на сегментите се осъществи в специално пригодена база. Сегментите се произвеждаха при двусменен или трисменен режим на работа с около 15 работника на смена. Производството бе разделено в 5 основни зони – хале за производство и обработка на сегментите (включително обособена зона за поправъчни работи), хале за заготовяне на арматурата, хале за заваряване на армопакетите, бетонов възел, акредитирана строителна лаборатория и складова база [4]. Използваното оборудване включва 30 бр. специални кофражни форми, снабдени с пневматични таблени вибратори, механична и вакуумна „лапи“ за изваждане и транспортиране на сегментите, вътрешен мостови кран, установка за обръщане на сегментите, иглени (потопяеми) вибратори,

портални кранове и др. Производственото хале е съоръжено с компресор и пневматичната система за вибраторите, както и с отоплителна система за осигуряване на подходящи температури по време на производството и първите 24 часа след него през зимния сезон.

Технология на производство и влагани материали

Производство на армопакети

Армировката за армопакетите се заготвяше в отделно хале.

Използваната армировка за армопакетите е класове A I и A III [2].

Монтаж на армопакети

След визуална и геометрична проверка съответният армопакет се полага кофражната форма. Необходимото бетоново покритие е мин. 30 mm. Същото се осигурява, чрез използване на бетонови фиксатори.

Проверка на размерите на кофражната форма се направи преди започване на производството и след това на всеки 100 бр. произведени сегмента. Правеше се визуална проверка на специални белези в ъглите на страниците в ляво и дясно (контактната зона двете страници с дъното на формата) и се проверяваше ширината в средата на кофража с помощта на вътрешен микрометричен винт.

Елементи за вграждане

Следващата стъпка бе поставянето и фиксирането, съгласно проектните чертежи, на елементите за вграждане в бетона (жлебове, шпилки, вложки и болтови кутии).



Фиг. 3. Подготвен за бетониране сегмент – с монтирани и фиксирали армировъчен скелет и елементи за вграждане

Бетониране

Бетонът се произвеждаше в бетоновия възел на базата и бе транспортиран с бетоновози до производственото хале. Слягането на бетона отговаряше на клас K3 (от 8 до 14 cm). Бетонът бе клас по якост на натиск B 50 и клас по водонепропускливост Bv 0.8. Бетоновата смес се

изиспиваше в кубел (1.2 m^3) закачен на мостови кран, като по този начин се извършваше транспорта и бетонирането в кофражните форми.

Бетонирането на сегментите тип А и тип В се изпълняваше продължително, като се вибрираше чрез включени пневматични вибратори за уплътняване на бетона. Този процес продължаваше около пет минути. Бетонирането на сегментите тип К ставаше по същият начин -бавно, с вибриране чрез включени пневматични вибратори за уплътняване на бетона. Този процес обикновенно продължаваше около 3 минути. Тези времена за вибриране се определиха чрез множество опити и гарантираха, че бетона се уплътнява правилно и няма да се позволи разслояване и изтичане на циментовото мляко от кофражната форма по време на вибриране [4].

При определено слягане на бетона в долната граница – 8 до 10 см, се използваха иглени вибратори за подпомагане на движението на бетона, в отворената част на кофража по начин, не нараняващ кофражните форми. Вибраторите не биваха да се подпъхват под капациите поради неправилната посока на вибриране.

По време на бетонирането на сегмента и двата капака трябваше да бъдат затворени и точно позиционирани. След завършване на бетонирането капациите се освобождаваха и се повдигаха малко така, че по-бързо да започне набирането на якост.

Заглаждане на бетоновата повърхност

След период от време (около 30 мин.) бетона набираше достатъчно якост, за да не се припълзва в кофражната форма. Капациите можеха да бъдат отворени изцяло и излишния бетон се отстранява чрез подравняване с мастар, а финалното заглаждане на повърхността се извършваше с пердашка. Впоследствие горната повърхност на сегментите се покриваше с полиетилен за предотвратяване пукнатинообразуване, поради съсъхване. Капациите се затваряха, като оставаше малка фуга между капака и бетоновата повърхност. Затвореното пространство което се образува под достигащия до земята полиетилен, осигуряващ подходящи условия за отлежаване на сегментите и предотвратяване загубата на топлина. При ниски температури се използваха допълнително подгряване на кофражните форми и завиване с подходящи покривала на сегментите.

Декофриране на сегментите

След като бетона достигнеше якост на натиск от 15 MPa, доказано чрез пристрелване със склерометър сегментите се изваждаха от кофражните форми с помощта на вакуумна или механична „лапа“, монтирана на един от мостовите кранове в халето. След декофрирането сегментите бяха маркирани трайно с печат върху страниците си и впоследствие транспортирани до междинната 24 часова складова площадка в халето за отлежаване [4].



Фиг. 4. Декофриране на сегмент с механична лапа

Складиране на сегментите в депото

Сегментите биваха съхранявани минимум 24 часа в халето за производство, като тези часове включват и времето за набиране на първоначална якост от 15 MPa, за да бъде предотвратен температурния шок и за да се увеличи якостта. През това време се извършваха и поправъчни работи, като например затваряне на пори, особено в зоната на жлеба за монтаж на хидроизолационния гumen уплътнител. След завършването на тези работи, сегментите биваха оборудвани с гумени уплътнения, ленти за поемане на срязващи сили, ленти за предаване на усилия и др. Тези операции се извършваха в специална зона разположена в производственото хале. След това сегментите се поставяха на колички на релси и се изнасяха извън производственото хале. Обръщаха чрез установката за обръщане, за да им бъде направен последен оглед и да бъдат складирани.



Фиг. 5. Складирани готови сегменти

Възстановяване и поправки на повредени сегменти

По време на производството на сегментите понякога се получават дефекти, които варираят от минимални козметични отклонения до дупки, пукнатини и отчупвания, които се нуждаят от поправка, а също и по-серииозни проблеми които водят до бракуване на сегмента.

Основните видове дефекти са следните - въздушни празнини (шупли), пукнатини, отчупвания, зони с некачествено уплътнена бетонова структура. Разработи се подробна инструкция за поправки. Инструкцията включва подробни критерии определящи съобразно вида на дефекта, неговата големина и местоположение, дали същият подлежи на поправка и задаваща методика за изпълнение на поправката и материали, които следва да се използват.

Използваха се материали на циментова основа за възстановяване на бетонни повърхности, подсилени с фибри за увеличаване на якостта за поправка на шуплите. За ремонт на отчупвания се ползваше материал на базата на епокси-модифицирана циментова суспензия, с допълнително добавени пълнители, правещи го подходящ за по-дебели поправки. За ремонт на пукнатини се предвиждаше филм на епоксидна основа, проникващ гравитично в пукнатината след съответната и обработка – механично и компресорно почистване.

Оценяване на съответствието и контрол на качеството

Интересен е въпросът с процедурите по оценяване и удостоверяване на съответствието на крепежните елементи. По време на започването на проекта в България вече действаха правилата за удостоверяване на качеството, съгласно Европейската Директива за Строителните Продукти 89/106 ЕЕС и съответната българска Наредба за Съществените Изисквания към Строежите и Оценяване Съответствието на Строителните Продукти [5]. След направено проучване не бе установено наличие на национални или хармонизирани европейски стандарти, описващи нормативни технически изисквания към такъв вид производство. Производителя имаше внедрена и одобрена система за управление на качеството съгласно БДС EN ISO 9001:2000. При започване на производството на сегментите се направи първоначално изпитване от консултантска фирма в Германия. Съгласно изискванията, [5] бетоновото стопанство използвано за производство получи Сертификат за съответствие на строителен продукт „Бетон Обикновен Клас по кубова якост на натиск В 50“ за произвежданият и влаганият в стоманобетонните пръстени бетон с клас по якост В 50 и клас по водонепропускливост Вв 0,8. След официални консултации с Министерство на Регионалното Развитие и Благоустройството и Дирекция Независим Строителен Контрол бе изяснено, че сегментите представляват индивидуални (несерийни) строителни продукти, предназначени за влагане единствено в конкретният строеж. Следователно, съгласно изискванията, за да бъде оценено съответствието им бе издадено Българско Техническо Одобрение (БТО) от Нотифициран орган. Наличието на БТО позволи на производителя да издава Декларация за Съответствие за отделните пръстени и

същите можеха да бъдат влагани на строежа. Съответствието с проектните изисквания се следеше непрекъснато съгласно системата за производствен контрол на производителя, под наблюдението на супервайзори от немската консултантска фирма и представители на отдела по качеството на главния изпълнител. Всички сегменти бяха приемани индивидуално от представители на Инженер-Консултанта по проекта преди монтажа им в тунела.



Фиг. 6. Изграден тунел от сегменти чрез ТПМ

Заключение

Производството на сегментите се реализира през периода 2006 – 2009 г. Бяха произведени и монтирани в тунелите над 2 500 бр. пръстени. Производството протече под изключително строг контрол, което спомогна продукцията да бъде с необходимото високо качество, съгласно изискванията. Бяха спазени всички процедури за оценяване и удостоверяване на съответствието, съгласно европейските строителни директиви.

Литература

1. Shibano J., Operation manual for Sofia metro extension project. Bulgaria Ø 5820 Earth Pressure Balance Tunnel Boring Machine, Tokyo 2006.
2. Hattori Y., Final design "TBM-Concrete Segmental Tunnel Lining", Sofia 2006.
3. Toan Ng., TBM and Lining Essential Interfaces, Torino 2006.
4. Agov D., Method Statement of Taisei Co for Sofia's Metro Extension Project - Segment production for tunnel lining & Segments Repair and Remedial Works, Sofia 2006.
5. Наредба за съществените изисквания и оценяване съответствието на строителните продукти - (Приета с ПМС № 325 от 06.12.2006 г.; обн., ДВ, бр. 106 от 2006 г.; попр., бр. 3 и 9 от 2007 г.; изм., бр. 82 от 2008 г., бр. 5 от 2010 г., бр. 7 от 2011 г. И бр. 18 от 2012 г.).