



ПОДЗЕМНИ ТРАНСПОРТНИ СЪОРЪЖЕНИЯ

Записки за студентите, издание 2005 г.

Автор - проф. Илия Иванчев

Фигури и оформяне – инж. Иванка Русева, ас. инж. Евелина Иванова

ЛИТЕРАТУРА

1. Оганесов, Г., С. Братоев, И. Гаджев. Метростроителство, Техника, София, 1990 г.
2. Фролов, Ю. С., Д. М. Голицынский, А. П. Ледяев. Метрополитены, Желдориздат, Москва, 2001 г.
3. Маковский, Л.В. Городские подземные сооружения. Стройиздат, Москва, 1985 г.
4. Иванчев, И., К. Топуров. Стоманобетонни мостове, ABC Техника, София, 2002 г.
5. prEN 1991-2. Eurocode 1: Action of structures. Part 2: Traffic load on bridges, July 2002.
6. prEN 1992-2. Eurocode 2: Design of concrete structures. Part 2: Concrete bridges, July 2002.
7. Иванчев, И. Методични указания за проектиране на стоманобетонни мостове според проекто-нормите, хармонизирани с Еврокод 1 и Еврокод 2 (записки за студентите) 2003 г.
8. Иванчев, И. Градски подземни съоръжения от сглобяеми стоманобетонни конструкции. Сп. “Промислено строителство”, бр. 2/1971 г.
9. Иванчев, И. Първият пътен противосрутищен тунел, Сп. “Пътища” 7/1974 г.
10. Langrock, J., J. Suchardt, W. Verch. Betonbrückenbau, Verlag für Bauwesen, Berlin, 1979.
11. Маноилов, Л. Стоманобетон, Техника, София, 1991 г.
12. Димитров, Б. Стоманобетонни конструкции, Техника, София, 1987 г.
13. Димитров, Б. Междуетажни конструкции, София, 1993 г.
14. Братоев, С. Софийски метрополитен. Nota bene! Communications, София 2004 г.
15. Girnau, G. Unterirdischer Städtebau, W. Ernst&Sohn, Berlin, 1970.

УВОД

Развитието на съвременния транспорт изисква построяването на подземни съоръжения. Според технологията на изпълнението им те се класифицират в две групи:

- а) изграждани без нарушаване на естествения терен;
- б) изграждани по открит начин.

Съоръженията от група а) се изучават главно в дисциплината “Тунели” и към тях освен тунелите по железниците, пътищата и метрополитените се причисляват и станциите и другите конструкции за метрото изпълнявани без нарушаване на терена.

Към група б) спадат транспортните съоръжения изграждани с изкопаване, изпълнение на конструкции и допълнително засипване като:

- някои тунели и станции на метрополитените;
- тунели за автомобилно движение или релсов транспорт в градовете;
- пешеходни подземи под улици, площади, пътища, ж.п. коловози, аерописти и т. н.
- подземни гаражи.

Настоящата учебна дисциплина е посветена на съоръженията от група б), като основно се разглеждат въпросите на конструкциите, взаимодействието им с почвената среда и начините на изграждане. Материалът в тази дисциплина е тясно свързан с въпроси от “Строителни материали”, “Строителна статика”, “Стоманобетон”, “Инженерна геология” “Земна механика”, “Фундиране”, “Пътища”, “Железници”. По подходящ начин се прави обвързка с тези дисциплини, без да се повтарят изучени теми и въпроси.

Първото подземно транспортно съоръжение изпълнено у нас по открит начин преди около 70 години е пешеходният подлез под коловозите на гара Горна Оряховица. В последните десетилетия бяха изградени много съоръжения от този тип. Най-голям брой и най-разнообразни по конструкции и предназначение са в София, между които и следните:

- Метролия Обеля – ж.к. Люлин – пл. Св. Неделя
- При НДК – транспортен тунел, пешеходни подлези, подземни гаражи, тунели и станция на метро.
- Пешеходен подлез под площада и коловозите на Централна гара, подземна многоетажна конструкция за паркиране на автомобили, автосервиз и магазини.
- Пешеходни подлези на пл. Св. Неделя, по бул. България, Цариградско шосе, Ботевградско шосе и т. н.

Построени бяха също подземни гаражи в Пазарджик, пешеходни подлези в Пловдив, Варна, както и в други градове и ж.п. гари.

Някои примери от изпълнение на подземни съоръжения са дадени в раздел 6.

1. ОСНОВНИ СВЕДЕНИЯ ЗА МЕТРОПОЛИТЕНИТЕ

1.1. ОБЩИ ПОЛОЖЕНИЯ

Метрополитенът (метрото) е градска железница разположена на обособено трасе, което не се пресича с улиците и другите комуникации. Линиите и станциите на метрото обикновено са разположени под земята. В някои случаи (напр. в крайни квартали и приградски зони) метролиниите и станциите са надземни и тогава задължително имат огради, за да не се допускат пешеходци, животни или превозни средства. Надземна е станцията Обеля на Софийското метро (разположена на мост над р. Какач) и прилежащ участък (виж раздел 6). Предвидено е някои бъдещи линии в кварталите Дървеница и Младост да бъдат надземни.

Има градски скоростни железници разположени изцяло върху конструкции (естакади), напр. така наречения S-Bahn Берлин. В същия град има метро (U-Bahn) в подземни тунели. Някои части от метрото минават по мостове над реки, напр. в Москва над Москва река, Киев над Днепър. Виадуктът в квартал Нусле в Прага е с кутиеобразна върхна конструкция, в която са разположени линии на метро, а на повърхността – пътните платна на градска магистрала.

Проектирането, строителството и експлоатацията на метрополитените включва следните дейности:

- а) избор на генералната схема на метромержата;
- б) проектиране на линиите и станциите в план и профил;
- в) проектиране, полагане и експлоатацията на горното строене на железния път;
- г) проектиране на строителните конструкции на тунелите, станциите и на другите съоръжения;
- д) архитектура и художествена украса на метростанциите;
- е) изпълнение на строителството – земни работи, укрепване на изкопи, изграждане на строителни конструкции;

- ж) електроснабдяване – силнотокрови тягови и осветителни инсталации;
- з) подвижен състав (влакове за метро) – проектиране, производство, експлоатация;
- и) сигнализация, съобщителни връзки, радиоуредби във влаковете и станциите;
- к) вентилационни уредби;
- л) ръководство на експлоатацията и обслужване на пътниците.

В настоящия курс е включена обща информация за метрополитените и повече подробности по въпросите от група г) и е) и то само за проектирането и изграждането на тунели и станции на метрото изпълнявани по открит начин. Останалите групи въпроси се решават от други специалисти, в това число и обучавани в други висши училища и техникуми.

1.2. ПРЕДИМСТВА И НЕДОСТАТЪЦИ НА МЕТРОПОЛИТЕНИТЕ

Метрополитенът като транспортна система има следните предимства:

- Разполагането метрото на обособени трасета позволява да се развият по-големи средни скорости в сравнение с другите видове градски транспорт: трамваен, тролейбусен, автобусен. При това се съкращава времето за пътуване.
- При целесъобразно развита метромрежа се съкращава броя на обществените превозни средства, движещи се по улиците, а до известна степен и на личните автомобили. Това има и екологически ефект – намалява се замърсяването и шума.
- За разлика от наземния обществен транспорт, при метрото по-лесно може да нарасне превозна му способност, като се увеличи броя на вагоните във влаковете и/или се намали интервала между тях. Увеличаване на превозната способност на другите видове градски транспорт е свързана с нарастване на транспортното натоварване по улиците, задръствания и намаляване на средната скорост.
- Метростанциите могат да служат и като укрития по време на война.

Недостатъци на метрото са:

- Относително голяма е стойността на капиталовложенията за строителните работи и експлоатационните съоръжения.
- Метрото се характеризира с ниска степен на аварийност, но евентуални повреди и аварии са с тежки последствия. Така напр. поради наводнението в Прага през 2002 г. метрото не се експлоатираше дълго време. Спирането на тока в Ню Йорк през 2003 г. създаде затруднения за евакуацията на пътниците.
- Метрополитените в някои градове (Москва, Лондон) бяха атакувани от терористи, при което имаше човешки жертви и материални щети.
- Няма визуална представа за пътуващите. Този недостатък се компенсира чрез информация по високоговорители във влаковете, указателни табели в станциите, схеми на метромрежата и т.н

Световната практика показва, че метрото се рентира в градове с милионно население. От друга страна липсата му в такива големи градове създава сериозни затруднения за транспортното обслужване на гражданите.

1.3. ИСТОРИЧЕСКО РАЗВИТИЕ

Първата метролиния е построена в Лондон и тя започва да се експлоатира от 1863 г., а в Ню Йорк – от 1868 г. В началото влаковете на тези метрополитени са с парни локомотиви, а от края на 19-ти век преминават на електрическа тяга. Първите метрополитени в континентална Европа са в Будапеща 1896 г. и в Париж 1900 г. През 30-те години започва строителството и експлоатацията на московското метро, а през следващите десетилетия и в

други 12 града на бившия СССР. Първите 2 линии в Азия са построени в Токио (1927 г.) и Осака (1933 г.). В последните десетилетия нараства броят на метрополитените в света, и главно в Европа, Източна Азия и Америка. Понастоящем метро има в около 100 града от всички континенти.

При обявяването на София за столица тя е трета в България по брой на населението (след Русе и Пловдив). За около 100 години броят на жителите в София достига милион. При този брой на населението и отдалечеността на някои квартали като Младост и Дружба на изток, Люлин – на запад, Надежда и Илиенци на север, необходимостта от метро е очевидна.

През 1972 г. с Постановление на Министерския съвет се приема технико-икономическия доклад за строителство на метро в София. Строителството започва през 1979 г. Оказана е техническа помощ от страна на руски специалисти, като проектирането и изпълнението на експлоатираната линия се извърши от български организации. При стопанската стагнация през 90-те години на 20-ти век бе поставен въпроса за замразяване на строителството. Направените икономически сравнения показаха, че разходите по консервация на недовършеното строителство са значителни. В този труден период управата на Столичната община успя да вземе правилното решение за продължаване на строителството.

Първият участък от метрото в София бе открит за експлоатация (с пътници) през 1998 г. между станциите “Сливница” и “К. Величков”. Последва продължението до ст. “Опълченска” през 1999 г., до площад “Света Неделя” (станция “Сердика”) през 2000 г. и “Сливница” Обеля през 2003 г.

През 2005 г. завършиха строителните работи на станция “Интерпред” при парк-хотел “Москва”, която е свързана с изградения вече тунел под бул. Драган Цанков. Същата година започна строителството на метростанции “Софийски университет” и “Стадион В. Левски”. Японска фирма с български подизпълнители започва изграждането по щитов метод на участъка “Света Неделя” – “Стадион В. Левски”. Планира се това строителство да завърши през 2007 г. и с това да се осигури движението на влакове до “Интерпред”.

Подвижният състав на софийското метро е руско производство.

1.4. ВИДОВЕ ГЕНЕРАЛНИ СХЕМИ НА МЕТРОМРЕЖАТА

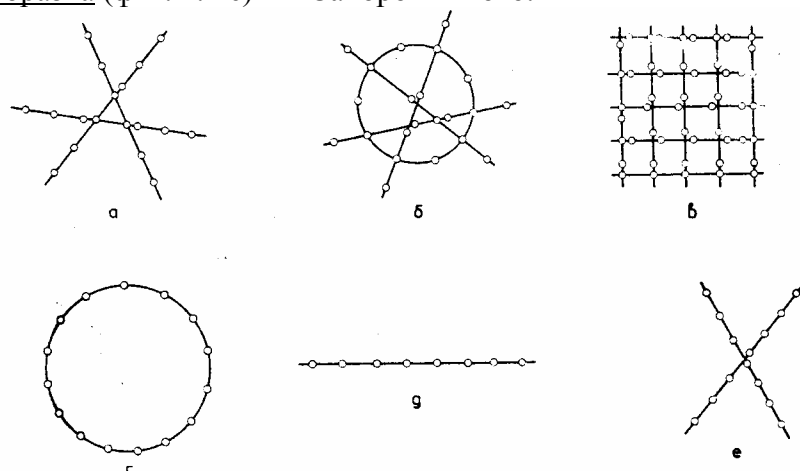
В генералната схема се фиксират основните направления и опорните пунктове, които са свързани с основните пътникопотоци. Генералната схема също трябва да е съобразена с особеностите на града и затова тя представлява неразделна част от градоустройствения му план. Освен това в генералната схема трябва да се отчитат възможностите за етапно изграждане на метрото.

Познати са следните генерални схеми:

а) Радиална (фиг. 1.1 а). Прилага се в градове с население до около 4-5 милиона (напр. Санкт Петербург, Киев, Прага) и при които в центъра им се събират основните артерии. При пресичане на линиите на метрополитените всяко направление обикновено се разполага на отделно ниво. Избягват се станции на повече от две нива, защото при многоетажните станции достъпът до най-долния етаж изисква дълго слизание. Освен това пространственото и конструктивното решение на такива станции е усложнено. Споменатите проблеми са свързани с условието, че движението на влаковете по всяка линия е автономно. Така е прието в Москва, както и в градовете, чиито метрополитени са изградени с участието на руски специалисти. Другаде, като напр. в Ню Йорк и Лондон, влаковете преминават от една линия в друга и на един перон на възлова станция спират влакове с различни маршрути.

б) Радиално-кръгова (фиг. 1.1 б) – за градове с многомилионно население. Напр. метрото в Москва е с 15 радиуса и един вътрешен кръг. Изгражда се и външен пръстен свързващ новите райони.

- в) Правоъгълна (фиг. 1.1 в), приложена в Париж, Лондон, Чикаго и др.
 г) Кръгова (фиг. 1.1 г) – в Глазгоу.
 д) Линейна (фиг. 1.1 д) – в Атина, Хелзинки, Балтимор и др.
 е) Х-образна (фиг. 1.1 е) – в Сапоро и Киото.



Фиг. 1.1. Видове генерални схеми на метрополитените

В някои случаи схемите на метрото са по-сложни и съдържат елементи от различните основни схеми, показани тук.

Генералната схема на Софийското метро при започване на строителството му е предвидена като радиална с 3 линии (диаметри), вж. фиг. 1.2 (Улиците и булевардите са с имената им от преди 1990 г.).

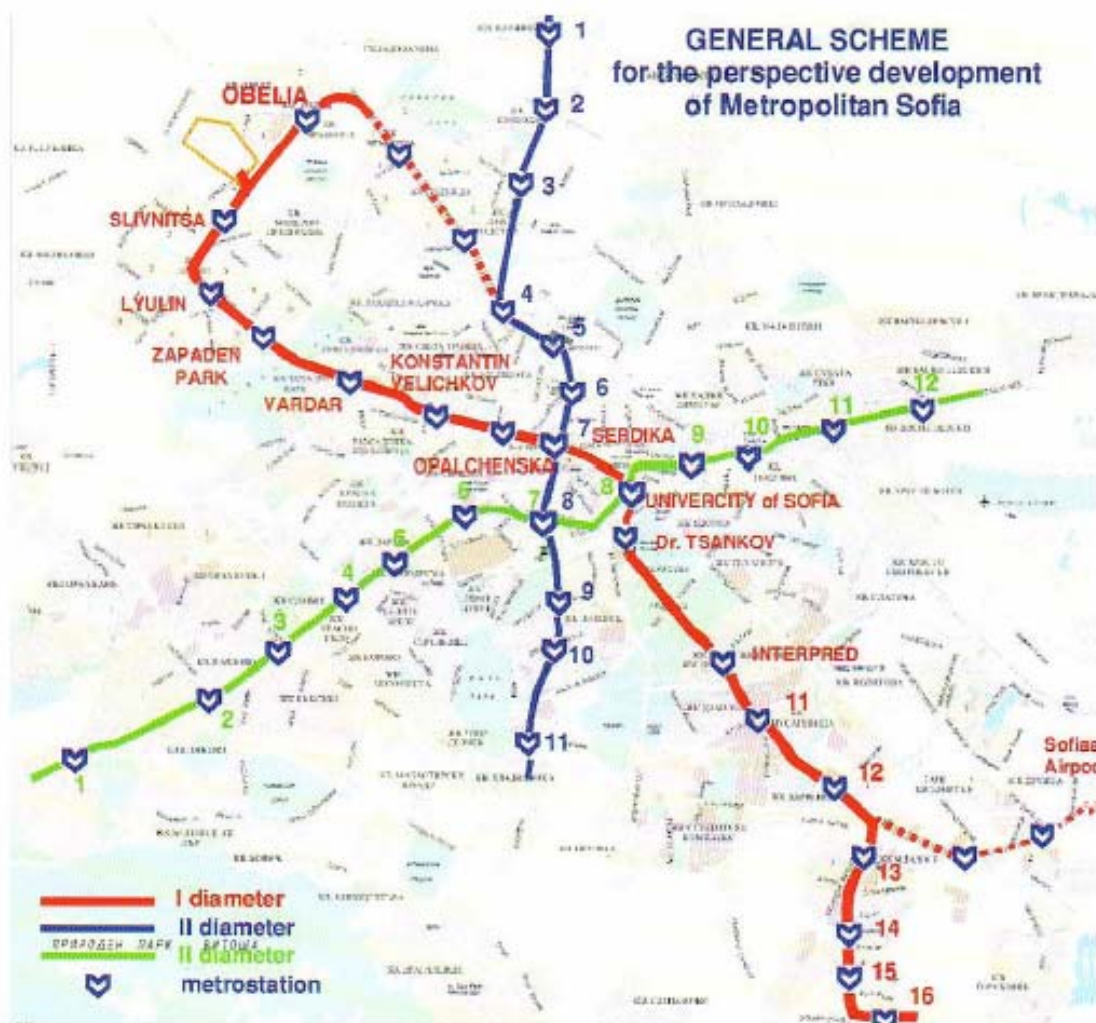
I линия. Засега е изграден радиуса Обеля - ж.к. Люлин - пл. Св. Неделя. С въвеждането му в експлоатация успешно се реши проблема за пътуването между ж.к. Обеля, Люлин и центъра. При съставянето на схемата бе предвидено този диаметър да продължи през Орлов мост, Цариградско шосе, ж.к. Младост до гара Искър. В последните години се реши да бъде направено изменение – от центъра линията да мине покрай СУ “Кл. Охридски” и до Националното радио в тунели изграждани без нарушаване на терена. Оттам да се използва готовия вече тунел под бул. Драган Цанков. Предвижда се от Парк хотел “Москва” метрото да бъде надземно като минава през кв. Дървеница до Младост 4, вж. фиг. 1.3. Има и идея за отклонение от този диаметър до Аерогарата.

Тунелът под бул. Др. Цанков първоначално бе замислен да служи за трамвайна линия. След като основните строителни работи по него са завършени, метрото може с по-малко средства ще достигне до източните квартали. Предишният вариант има предимството, че минава близо до комплексите Яворов, Изток и Гео Милев. За сметка на това неговото реализиране е свързано с частично или пълно затваряне на Цариградско шосе по време на строителството или с прилагането на по-скъпия тунелен метод.

Според новата генерална схема се предвижда и продължение на западния радиус от ж.к. Обеля до ж.к. Надежда, където да бъде свързан с II линия (с пунктир на фиг. 1.3).

II линия – Промислена зона Илиенци - Централна гара – пл. Св. Неделя – НДК – кв. Хладилника. Преди около 20 години при строителството на НДК се изпълниха строителните работи за метротунелите от пресечката на бул. Витоша и бул. Патриарх Евтимий, до хотел “Хемус” както и две станции. Целта на това строителство бе да се избегнат бъдещи подземни работи в района на НДК. Вестибюлът на станцията при НДК засега се използва като базар.

III линия - Горна баня – бул. Цар Борис III – Руски паметник – СУ “Кл. Охридски” – гара Подуене – кв. Враждебна. При благоустрояването на площада пред гара Подуене от тази линия са изградени няколко десетки метра тунел, под други транспортни съоръжения. Тук се изхождаше от същите съображения, както при строителството в района на НДК.



Фиг. 1.3. Генерална схема на Софийското метро от 2004 г., виж вестник “Строителство-градът”, бр. 13/2004 г. и [14]

Очакваните пътничкопотоци по II и III линия са по-малки отколкото по I. Затова строителни работи по тях едва ли ще започнат преди завършването на метрото до Младост. Според изказване на бившия кмет Софийски, цитирано в пресата, метролинията Централна гара - кв. Хладилника ще бъде завършена след 18 години. Тук ще отбележим, че в другите градове обикновено с приоритет се строят линиите осъществяващи връзка с основните ж.п. гари.

Реализацията на генералната схема на софийското метро е забавена в сравнение с първоначалните намерения и засега основно се разчита на надземния транспорт. Но световната практика е показала, че при наличие на повече от една линия ефективността на метрото значително нараства. Това обстоятелство и икономическите условия ще са определящи за бъдещите решения по сроковете за строителство и доуточняването на схемата.

1.5. ИЗИСКВАНИЯ КЪМ ЛИНИИТЕ И СТАНЦИИТЕ В ПЛАН И ПРОФИЛ

Радиусът на хоризонталните криви обикновено се избира не по-малък от 600 m. При затруднения предизвикани от усложнени инженерно-геоложки условия, необходимост от разрушаване на солидни сгради или трудни преустройства на инженерни съоръжения се допускат криви до 300 m. За кривите с радиус под 2000 m са необходими преходни криви. Там, където влаковете маневрират без пътници се допускат и по-малки радиуси, напр. за коловози за смяна на посоката на движение при крайни станции, във връзките между отделни линии, в депата и т. н.

Метростанциите се разполагат в прави участъци, или по изключение в криви с радиус не по-малък от 800 m.

Надлъжният наклон на линиите се приема не по малък от $3^{\circ}/_{\text{oo}}$ с оглед на отводняването. При затруднени условия се допускат и хоризонтални участъци, но водоотвеждащите канавки трябва да са наклон не по-малък от $2^{\circ}/_{\text{oo}}$. Максималният наклон на подземните линии на метрото е $40^{\circ}/_{\text{oo}}$, а на надземните - $35^{\circ}/_{\text{oo}}$.

Метростанциите се изграждат в едностранен надлъжен наклон равен по $3^{\circ}/_{\text{oo}}$. По изключение и при основателни причини наклонът може да бъде увеличен до $5^{\circ}/_{\text{oo}}$. Допускат се също и станции в хоризонтален участък, но водоотвеждащите канавки трябва да са с наклон $3^{\circ}/_{\text{oo}}$.

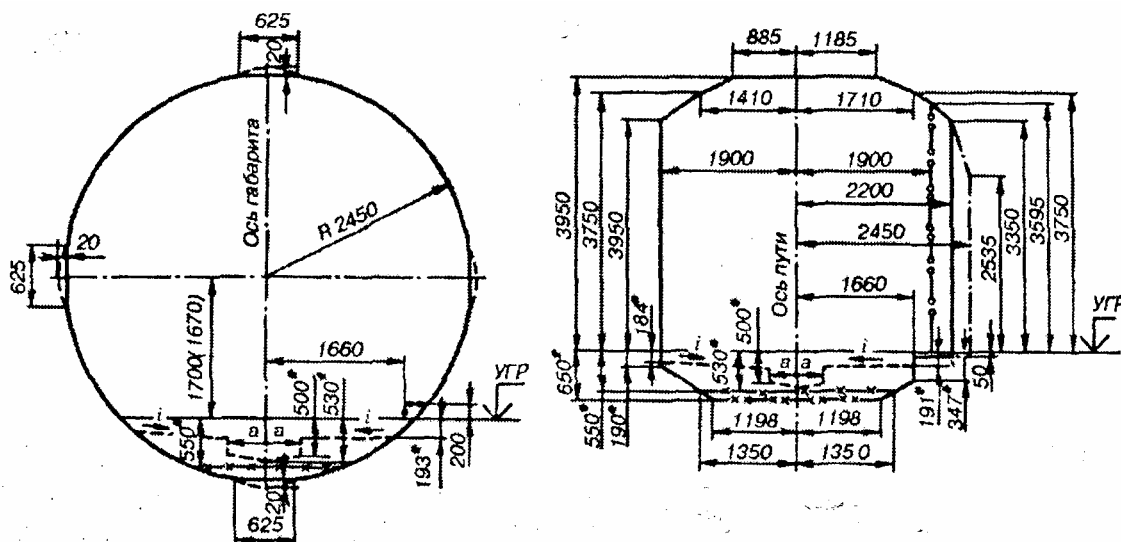
Елементите на надлъжния профил се приемат не по-малки от изчислителната дължина на влаковете, като се държи сметка и за бъдещото им удължаване.

1.6. ГАБАРИТИ НА ТУНЕЛИТЕ

В метрополитените са установени следните габарити:

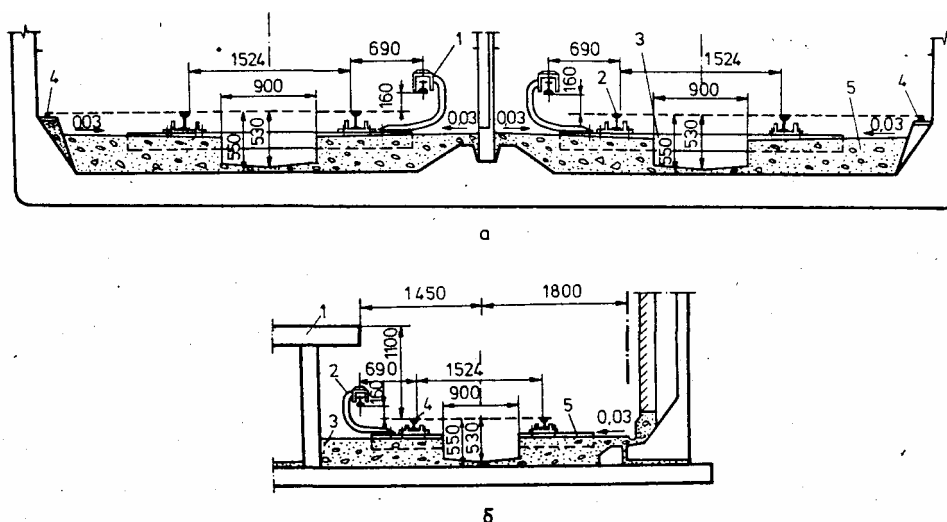
- за подвижния състав, т.е. за максималните размери на возилата;
- строителен габарит, т.е. за минималните светли широчини и височини, в които не могат да бъдат разположени елементи на строителните конструкции;
- за експлоатационни съоръжения; този вид габарит заема междинно положение между другите два и дава ограниченията за разполагане на кабели, сигнали и т.н.

За тунели с правоъгълно сечение трябва да се осигури светла височина не по-малка от 3950 mm над горния ръб на релсите и светла широчина мерена от оста на коловоза 1900 mm (фиг. 1.4). В обсега на тези размери не могат да навлизат вертикалните и хоризонталните елементи на строителните конструкции. Другите размери показани на фигурата се отнасят за очертаването на строителния габарит в долната и горната му част, за отводнителни канавки, подпорни стени при преходите към открити участъци и др.



1.7. ГОРНО СТРОЕНЕ НА ЖЕЛЕЗНИЯ ПЪТ

Междурелсието в метрото е както на нормалните ж.п. линии (у нас и в повечето европейски страни то е 1435 mm). Така е прието, за да може да има връзки с националната ж.п. мрежа, необходими за достъп на машини за поддържане, за транспортиране на подвижен състав до ремонтни заводи и др.



Фиг. 1.4. Горно строене: а) в двупътен тунел; б) в метростанция.

Баластовото легло създава еластичност на горното строене, но изисква редовни грижи за поддържането, което в подземните участъци на метрото е затруднено и затова не се прилага. Друга възможност е релсите могат да бъдат закрепени за дънна бетонна плоча, но в този случай скрепленията им трябва да бъдат достатъчно еластични. В софийското метро, а и другаде, има участъци, в които релсите са положени на дървени траверси, забетонирани в дънна плоча. От чуждата практика е установено, че дървените траверси в тунелите на

метрото при почти постоянна температура и влажност имат трайност около 35 год. Подмяната на траверсите изисква разбиване на бетона около тях. Поради това дънната плоча трябва да бъде от две части: долна (част от строителната конструкция) и горна (елемент на горното строене, подлежащо на подмяна).

Влаковете на метрото са електрическа тяга. Токът е прав, като в софийското метро е с напрежение 825 V. Токът тече по контактна релса (положителен полюс), разположена странично на коловоза и закрепена на конзола (фиг. 1.5). От релсата токът се подава на мотрисите чрез специални колела. Ролята на отрицателен полюс се изпълнява от релсите на коловоза.

1.8. СТАНЦИИ, ТУНЕЛИ И ДРУГИ СТРОИТЕЛНИ СЪОРЪЖЕНИЯ НА МЕТРОТО

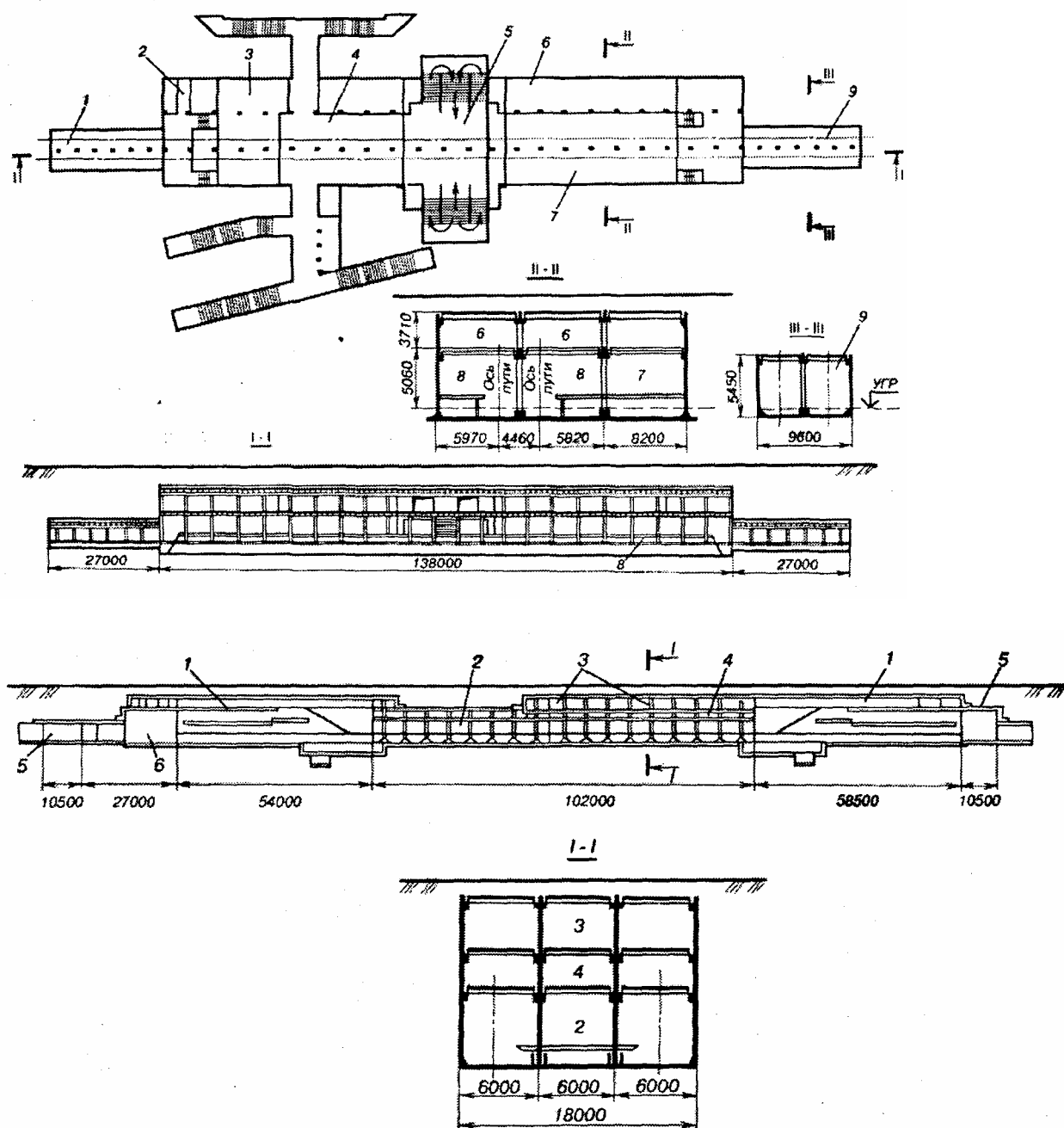
В станциите на метрото има помещения с различно предназначение. Влизането и излизането от метростанциите става чрез така наречените *вестибюли*. Там се намират каси за билети, места за контрол при влизането, търговски обекти и др., фиг. 1.6. Обикновено те са разположени непосредствено под терена и в някои случаи могат да са свързани с пешеходни подлези. Много станции на московското метро са с надземни вестибюли - разположени на терена и оформени като сгради. За станция "Стадион В. Левски" е проектиран надземен вестибюл, разположен в Борисовата градина близо до кръстовището на булевардите Евлоги Георгиев и Драган Цанков.

Пероните за качване и слизване се намират под вестибюлите. В станциите се разполагат и служебни помещения, тягови подстанции и т.н. При връзката на тунелите със станциите се разполагат вентилационните връзки, които служат за намаляване на скоростта на въздушния поток от влаковете. Формата на станциите в план зависи от броя на коловозите, възможните начини на качване и слизване на пътниците и връзката с вестибюлите. На фиг. 1.7 са показани някои видове станции при наличие на два коловоза. При възлови станции, в които коловозите на отделните линии са разположени на едно ниво броя на коловозите е по-голям. На фиг. 1.8 са показани някои конструкции на метростанции.

Участъковите тунели се намират по линиите на метрото. Всеки коловоз може да се намира в отделен тунел или двата коловоза да са в общ тунел. *Глухите тунели* се намират при крайните станции и служат за преминаване на влаковете от единия на другия коловоз. *Съединителни връзки* се предвиждат при станции, в които две линии се пресичат на различни нива. Те представляват тунели за преминаването на влакове от една линия в друга. В зависимост от приетия начин на експлоатация, съединителните връзки могат да служат за преминаване на влакове с пътници или само за маневриране на празни подвижни състави.

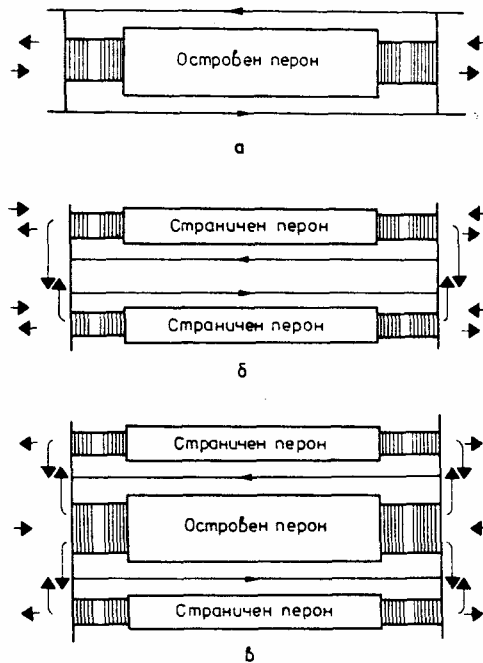
При метростанции разположени на голяма дълбочина между вестибюла и пероните има *наклонени тунели*, в които са разположени ескалатори за качване и слизване. Връзката на подземната част на метрото с надземната, а също със ж.п. мрежата става с *портални входове*. При тези входове често се правят рампи с подпорни стени.

Други подземни строителни съоръжения на метрото са вентилационни камери, шахти и канали, водосъбирателни шахти с помпени станции, помещения за подстанции (в които променливия електрически ток се превръща в прав с необходимото напрежение).

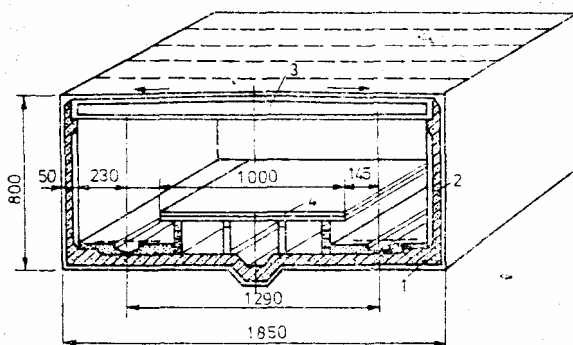


Фиг. 1.6. Напречни разрези на метростанции:

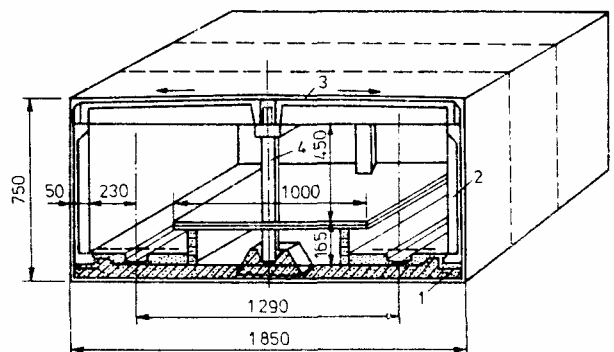
- а) двуетажна:** 1 - вентилационна връзка; 2 - вентилационна камера; 3 - вестибюл; 4 - касова зала във вестибюля; 5 - разпределителна зала; 6 - тягова подстанция; 7 - служебни помещения; 8 - перони; 9 - участъкови тунели;
- б) триетажна:** 1 - вестибюл и служебни помещения; 2 - перони; 3 - тягова подстанция; 4 - кабелен етаж; 5 - вентилационна връзка; 6 - вентилационна камера.



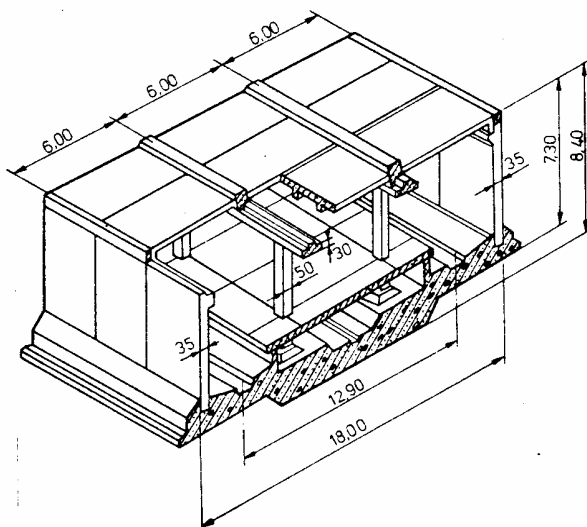
Фиг. 1.7. Схеми на метростанции



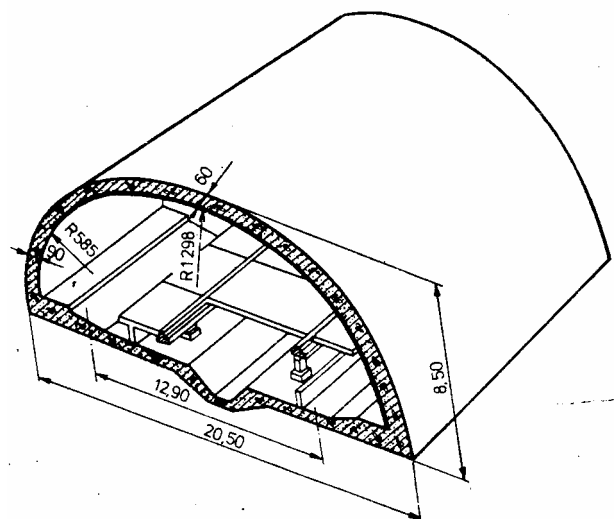
а



б

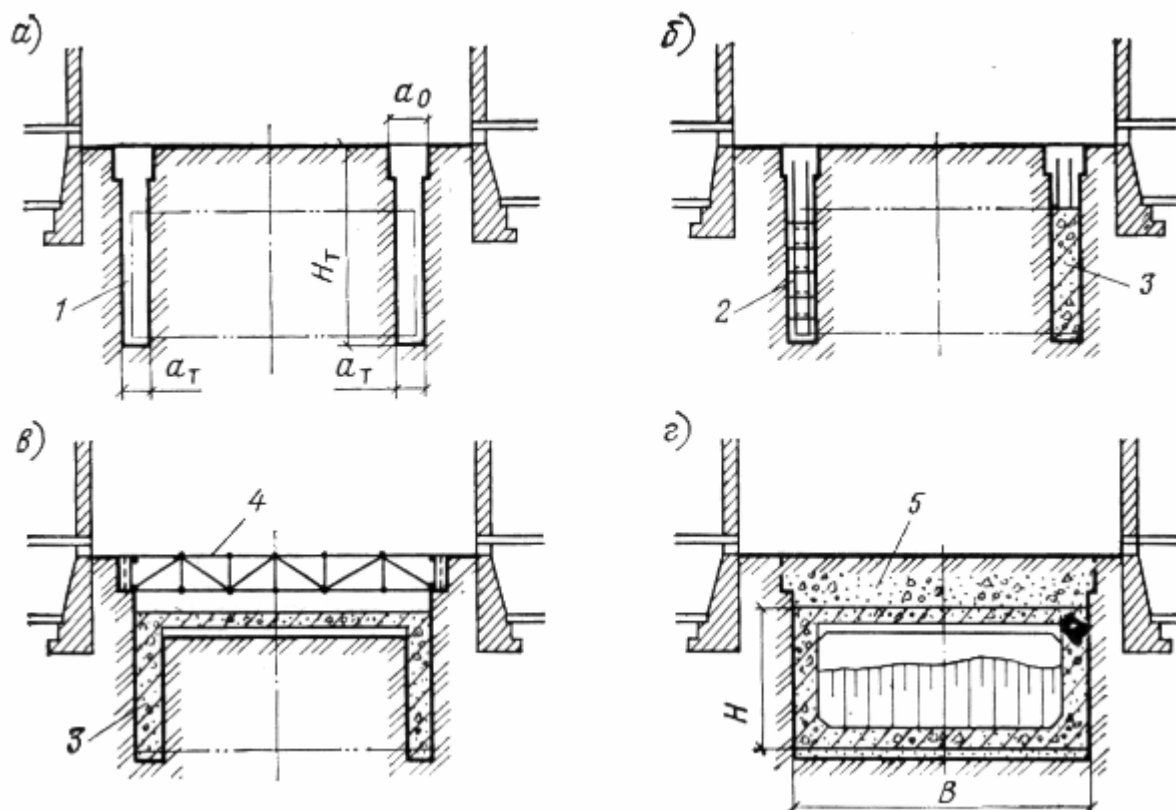


в



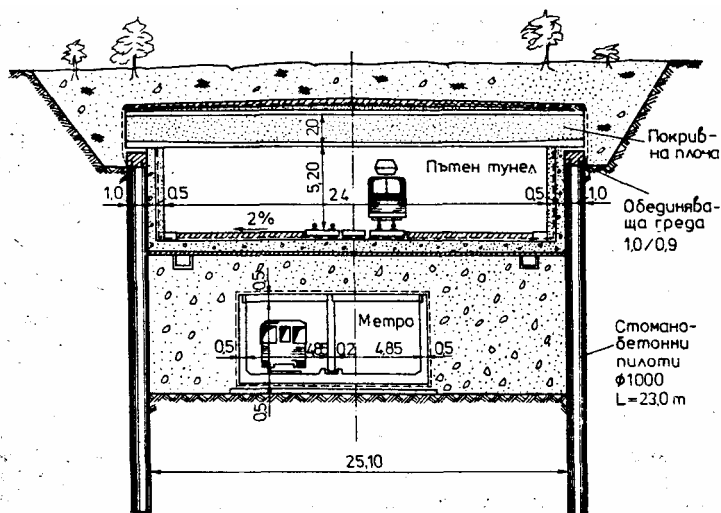
г

Фиг. 1.8. Видове метростанции изпълнявани по открит способ: а) едноотворна с плосък покрив; б) двуотворна, с един ред колони в средата; в) триотворна, с два реда колони на перона; г) едноотворна със сводов покрив.



Фиг. 2.2. Примерна последователност на изпълнение на подземно съоръжение по траншеен метод: а), б) изпълнение на шлиц-стени; в) изливане на горна плоча; г) направа на изкоп и долна плоча.

2.2. Примери за прилагане на различни методи на изграждане

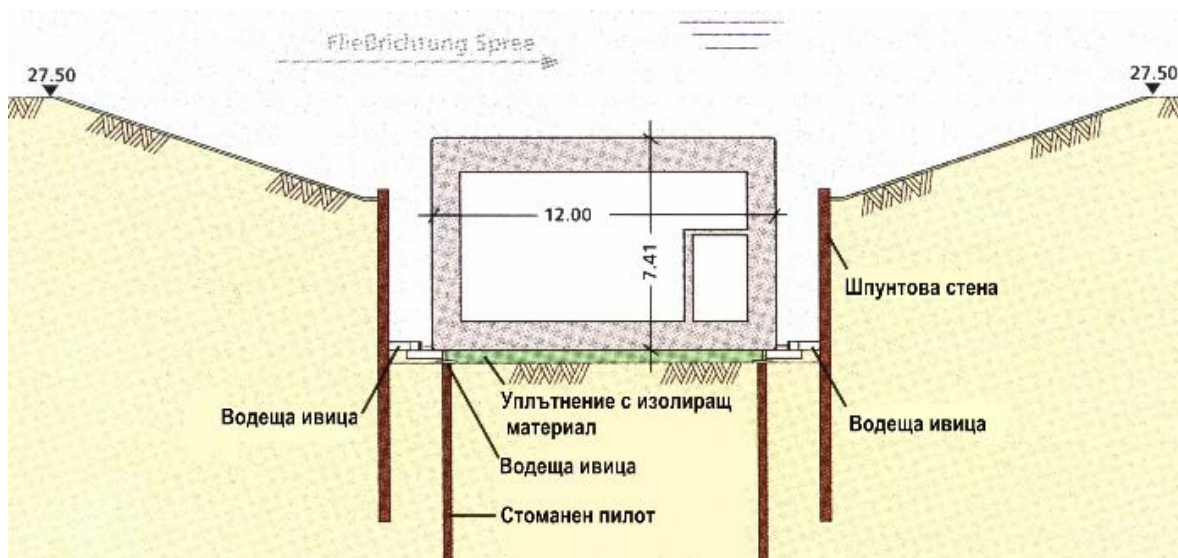


Фиг. 2.3. Двуетажен тунел в ж.к. Люлин.

На фиг. 2.3 е даден напречния разрез на двуетажен тунел в ж. к. Люлин изпълнен по траншеен метод. На терена е разположена ж.п. линията София-Перник, която съдържа остър

ъгъл с оста на тунела. При прокарването му в началото са изпълнени два реда от изливни пилоти. За изпълнението на пилотите в обсега на ж.п. линията коловозът бе временно изместен. Пилотите служат за опори на стоманобетонна покриваща конструкция. След завършването ѝ на долния етаж е изградена двукамерна рамкова конструкция за метрото, която е засипана с баластра. Така е оформено нивото на бул. Тодор Александров, който в този участък е две пътни платна, разделени от трамвайна линия разположена по средата. За това ниво са изградени стени, опиращи в пилотите и дънна плоча.

На фиг. 2.4 до 2.7 са дадени схеми и снимки от изпълнението на тунел в центъра на Берлин. Съоръжението пресича р. Шпрее и осъществява връзка на новите сгради на Федералното правителство с основни булеварди. В напречен разрез конструкцията представлява затворена монолитна рамка. Изпълнението е съобразено с високото ниво на водите и сложните геоложки условия.

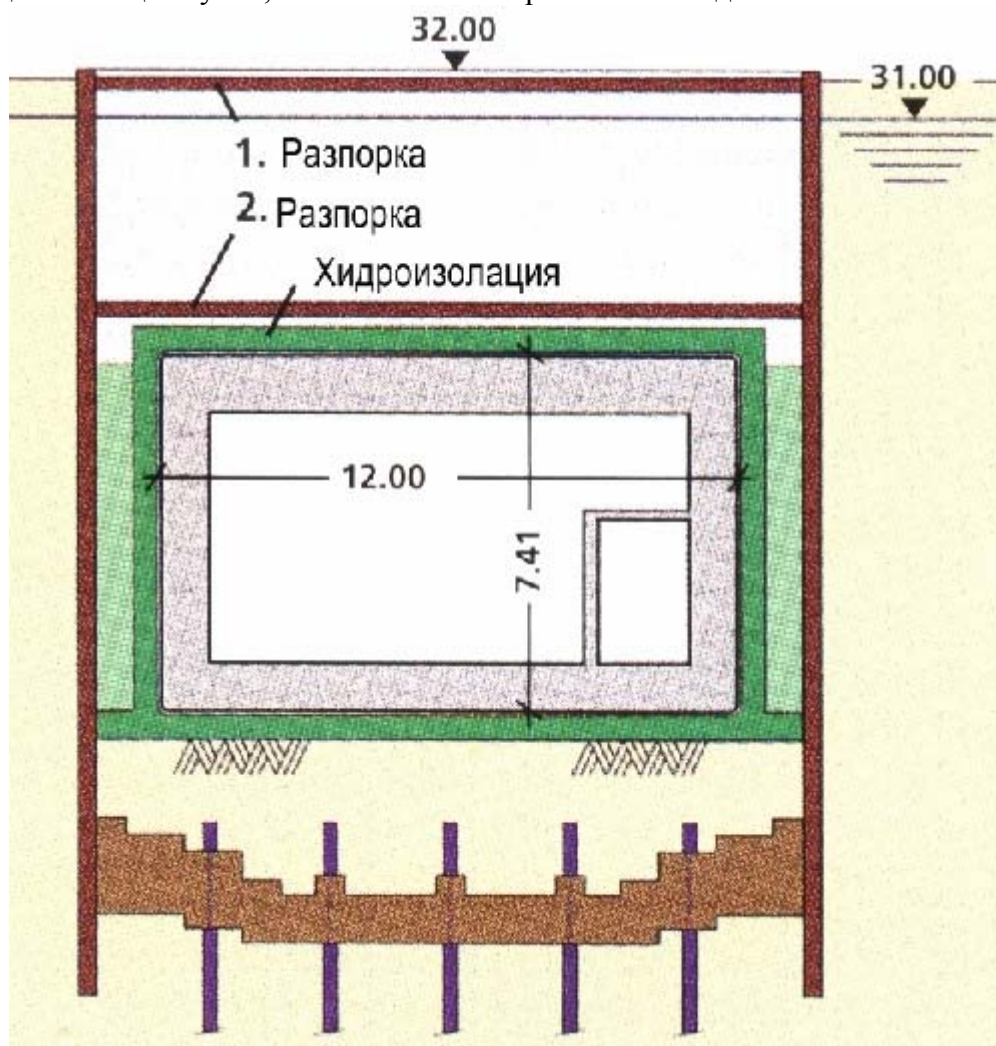


Фиг. 2.4. Напречен разрез тип 2-2 – изпълнение по котлованен метод като изкопът е укрепен със стоманен шпунт. Рамката е фундирана на стоманени пилоти под стените на правоъгълното сечение.



Фиг. 2.5. Машина за извършване на изкопи за шлиц-стени

На фиг. 2.5 е дадена снимка на машина за изкопаване на шлиц-стени, а на фиг. 2.6 - друга секция от същия тунел, но изпълнена по траншееен метод.



Фиг. 2.6. Напречен разрез тип 1-1. Изпълнено е укрепване със шлиц-стени подпирени с разпорки и представляващи външна рамка. Носещата конструкция (вътрешната рамка) е изпълнена след изкопаване на пространството оградено от външната рамка.



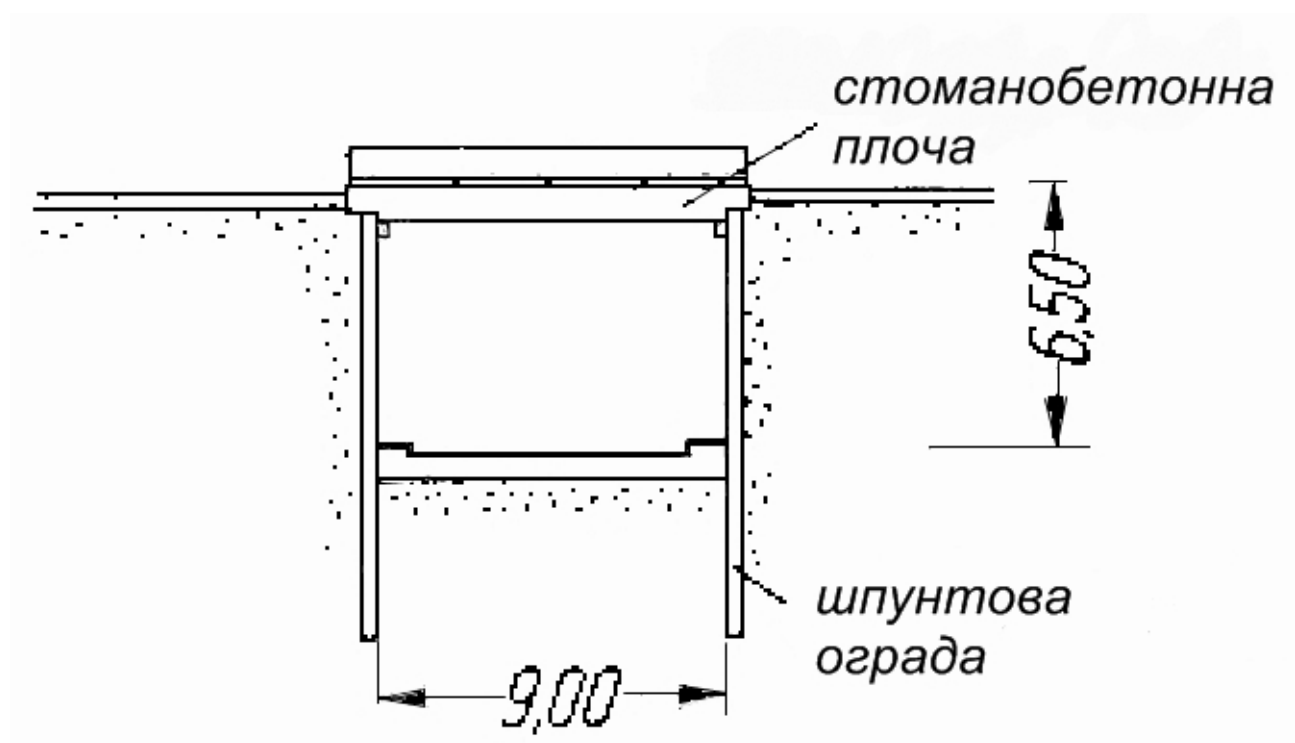
Фиг. 2.7. Снимка по време на строителството. В челото на тунела се вижда укрепване със стоманен шпунт. Сградата с купола отзад е Райхстага – парламентът на Германия.



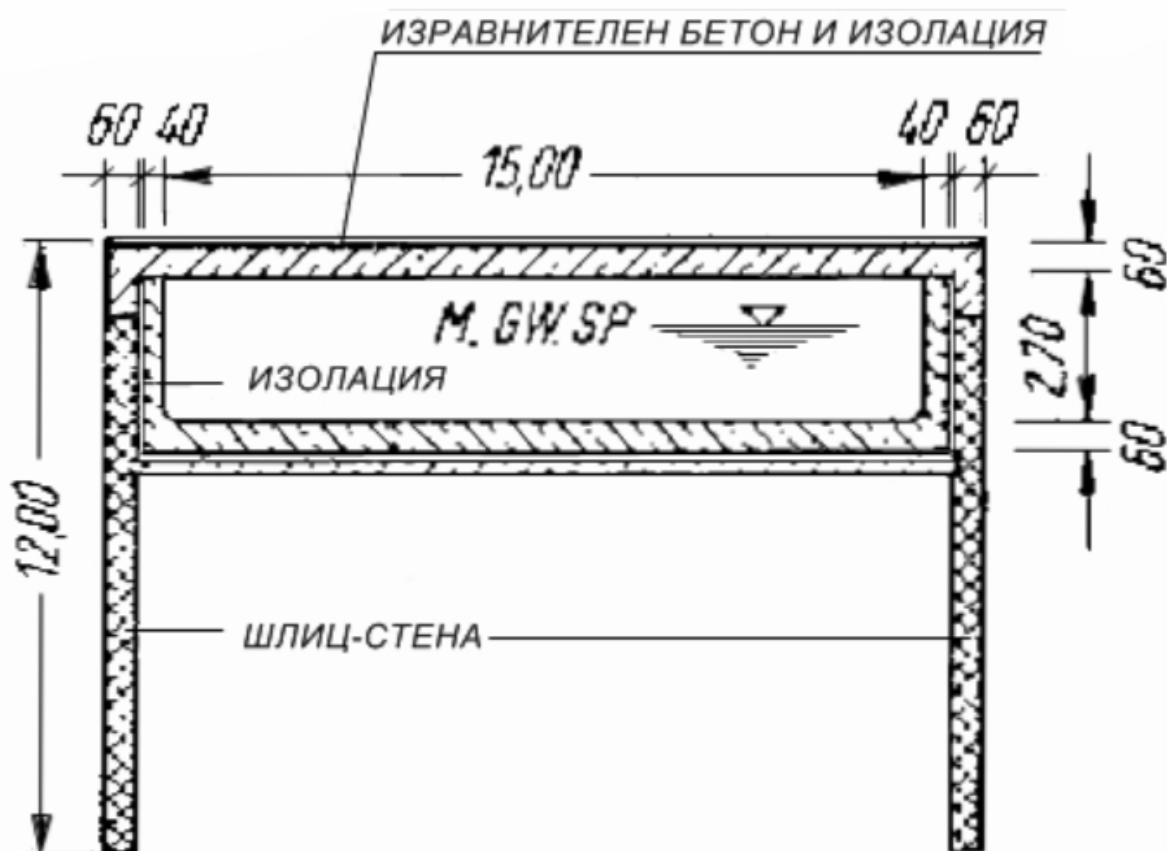
Фиг. 2.8. Укрепване със стоманен шпунт и инвентарен кофраж за стоманобетонна конструкция

На фиг. 2.8 е показано укрепване на изкопна яма със стоманен шпунт, т.е. който се изважда след изграждане на конструкцията на съоръжението. На фиг. 2.9 е даден един порядко прилаган случай, при който стоманения шпунт се прилага при изграждане по траншеен метод, т.е. шпунтът остава като постоянен елемент.

На фиг. 2.10 е показано изграждане по траншеен метод при високо ниво на почвените води. Изпълняват се първо шлиц-стените. След това се излива покриващата конструкция върху терена. После се изкопава габарита на тунела, при което водата се изчерпва с помпи. В пода на тунела се изпълнява подложен бетон. Върху него и по вътрешните повърхности на шлиц-стените се полага хидроизолация. Следва направата на стоманобетонна конструкция с формата на обърнато П, чиято долна плоча служи за разпорка на шлиц-стените. Тази конструкция остава на сухо благодарение на хидроизолацията.



Фиг. 2.9. Съоръжение изпълнено по траншеен метод със стоманен щпунт



Фиг. 2.10. Съоръжение изпълнено със шлиц-стени при високо ниво на почвените води

2.3. Материали, елементи и конструкции

Елементите на подземните съоръжения изпълнявани по открит способ обикновено са стоманобетонни и по-рядко бетонни.

Стоманени елементи се използват обикновено за временни съоръжения: скелета на монолитни конструкции, шпунтови стени и др. В редки случаи метални части могат да бъдат постоянни елементи, напр. анкери, пилоти, шпунт от стомана, виж фиг. 2.4 и 2.9.

Тук няма да бъде отделено място на въпросите за материалите, оразмерителните проверки и конструирането на елементите, понеже те са предмет дисциплините “Стоманобетон и стоманобетонни конструкции” и “Стоманобетонни мостове”. В настоящата дисциплина ще бъдат посочени само някои специфични особености на подземните съоръжения.

Основно вниманието ще бъде насочено към конструктивните форми и детайли на подземните съоръжения, свързани с експлоатационните изисквания, въздействията, изчислителните модели и начина на изграждане.

2.4. Натоварвания и въздействия

2.4.1. Постоянни натоварвания

Към постоянните натоварвания спадат теглата на конструктивните части и вертикалния товар от теглото на насип и настилка върху покривните елементи на съоръженията. Трябва да се отчете земния натиск и въздействието от съсъхване на бетона.

За изчисленията при проектирането могат да бъдат препоръчани следните величини:

- обемно тегло на почвата 18 kN/m^3 ;
- ъгъл на вътрешно триене на почвата 30° ; кохезия 0;
- обемно тегло на стоманобетонни елементи 25 kN/m^3 ;
- обемно тегло на замазки изолации 22 kN/m^3 ;
- коефициент на сигурност за постоянни натоварвания $\gamma_G = 1,35$

2.4.2. Временни натоварвания от превозни средства

Подземни съоръжения намиращи се под пътища и улици трябва да бъдат проектирани за автомобилни натоварвания като обикновено се ползват нормите за проектиране на мостове, вж. [4]. При изчисленията трябва да се вземе под внимание разположението на лентите за движение спрямо съоръжението, при което има по-голямо разнообразие в сравнение с мостовете. Така напр. оста на тунелите на Софийското метро между станции «Константин Величков» и «Сердика» е успоредна на направлението на бул. Тодор Александров. При пешеходни подлези оста на съоръжението най-често е перпендикулярна на улицата. Има и пешеходни подлези, разположени косо спрямо улиците, напр. този при Орлов мост в София.

За съоръжения разположени под улични кръстовища и площи може да се приемат два основни случая на натоварване с автомобилни ленти (колони): успоредно на едната от улиците (или оста на съоръжението) и перпендикулярно на нея. Междинните случаи на косо разположение на завиващите превозните средства може да не се изследват, приемайки че усилията при тях са доста близки до тези за основните случаи.

В настоящия курс не се повтарят дефинициите и правилата за подвижните автомобилни и ж.п. товари дадени в «Стоманобетонни мостове», а се разглеждат само някои особености, специфични за проектирането на подземните съоръжения.

За подземни съоръжения с големи площи трябва да се отчете и следното обстоятелство. Подвижните товари за пътни мостове са дефинирани за обичайните широчини на пътните платна. Така например в Еврокод 1 [5], приет като основа за бъдещите български норми за проектиране на мостове [6] е отбелязано, че подвижните товари се отнасят за широчина на пътното платно до 42 m. Затова при съоръжения с големи площи за проектирането могат да се приемат подвижни товари различаващи се от тези за мостове, след необходимата обосновка.

Съоръженията под ж.п. линии и гари се изчисляват за подвижните товари за проектиране на ж.п. мостове. За конструкции под насип динамичните коефициенти се намаляват както следва:

$$(2.1) \quad red\phi = \phi - \frac{h - 1.00}{1 - 10} \geq 1.0$$

където:

ϕ - динамичен коефициент за конструкции с баластово легло, разположено върху конструкцията;

$red\phi$ - динамичен коефициент за конструкции под насип

h - дебелината на покритието в m, включващо насипа и баласта, h се мери от горния ръб на траверсата, до горната повърхност на конструкцията, а при сводове - до най-горната точка на свода.

За съоръжения под насип товарите от колелата се разпределят под ъгъл 30^0 спрямо вертикалата (фиг. 3.2).

Конструкциите трябва да бъдат изследвани и за натоварванията в строително състояние. В някои случаи те могат да се окажат по-големи от експлоатационните. Напр. при монтаж на елементи на сглобяеми конструкции въздействията от някои кранове могат да се окажат по-тежки от тези предизвикани от подвижните товари в експлоатация.

Коефициентът на сигурност за подвижните натоварвания γ_Q се приема равен на

- 1,50 - от автомобили и пешеходци;
- 1,45 – от ж.п. товарен модел LM71
- 1,20 – от ж.п. товарни модели SW.

3. КОНСТРУКЦИИ НА ТУНЕЛИ, ИЗГРАЖДАНИ ПО ОТКРИТ СПОСОБ

3.1. ОБЩИ ПОЛОЖЕНИЯ

Тунелите изграждани по открит способ служат за:

- а) линии на метрополитени;
- б) трасета на автомобилни пътища, улици или ж.п. линии;
- в) пешеходни подлези под улици, площи, пътища, ж.п. коловози, аерописти;
- г) колектори за инсталации: електрически кабели с високо и ниско напрежение, топлопроводи, водопроводи и т. н.

Тези видове тунели се различават по експлоатационните изисквания към тях, вкл. осветление, вентилация, сигнализация и др. Различни са и габаритите им в зависимост от предназначението. За тунелите на метрополитените вж. т. 1.6 на тези записки. Габаритът за нормални ж.п. линии е даден в курса по “Стоманобетонни мостове”, фиг. 3.18 от [4], а за пътища и автомагистрала – фиг. 3.17 и фиг. 3.19 от [4]. Широчините на тунелите в населени места за автомобилно движение се предписват в заданието за проектиране и са съобразени с градоустройственото решение. За светлите им височини обикновено се спазват изискванията за пътищата от републиканската мрежа. При наличие на трамвайни и тролейбусни линии трябва да се осигури необходимия габарит за контактната мрежа. Минималната светла височина на пешеходните подлези се приема 2,50 m. Габаритите на колекторите се съобразяват с разполагането на предвидените инсталации. Трябва да се осигури също достъп на обслужващ персонал (минимална светла височина 2 m), както и пространство за извършване на ремонтни работи, складиране на материали. Следва да се отчитат и възможните неблагоприятни последици от близкото разполагане на различни по вид инсталации. Напр. в телефонната мрежа могат да настъпят смущения, ако кабели с високо напрежение са разположени близко до комуникационни кабели. При приемане на напречните сечения на колекторите трябва да се държи сметка и за перспективното развитие на различните видове мрежи. Така при бъдещо монтиране на нови инсталации няма да се налага разкопаване на улиците.

В следващото изложение не се разграничават тунелите в зависимост от предназначението им – за метро, автомобилно движение, пешеходци и др. За конструктивното решение и начина на изграждане най-голямо значение имат габаритите на тунела, дебелината на насипа над покриващата му конструкция, стъпващите върху него подвижни товари и начина на изпълнение.

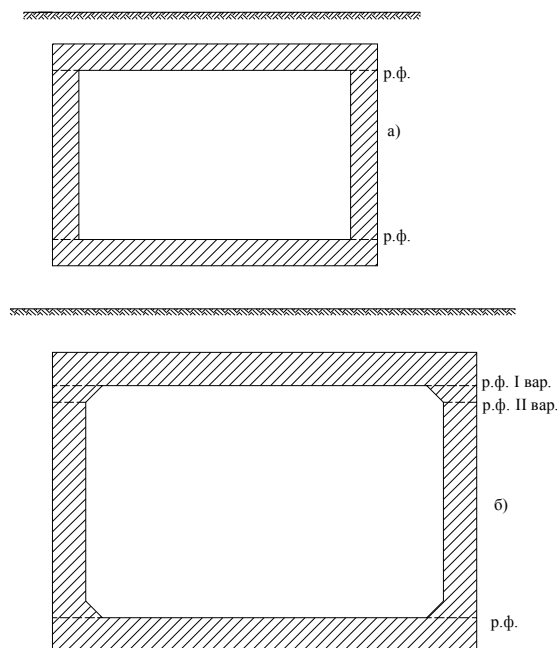
Разгледаните в настоящия Раздел 3 конструкции се изпълняват по *котлованен способ*, при който изкопа може да бъде с неукрепени откоси (фиг. 2.1 а) Друга вариант на този способ е с укрепване на изкопа, но само за строително състояние. При *траншейния способ*, вж. фиг. 2.2, 2.3 2.9, укрепването на изкопите изпълнява и ролята на вертикален носещ елемент на конструкцията в експлоатационно състояние.

3.2. РАМКИ С КОРАВИ ВЪЗЛИ

3.2.1. Монолитни рамки

Монолитните едноотворни затворени рамки (фиг. 3.1) се изграждат в следната последователност. Върху подложен бетон се излива дънната плоча. За изпълнението на стените се ползват вертикални кофражи, а за покриващата плоча - хоризонтален кофрак

подпрян върху дънната плоча. Примери за изпълнение на такива рамки са илюстрирани със снимки без коментар в раздел 8.

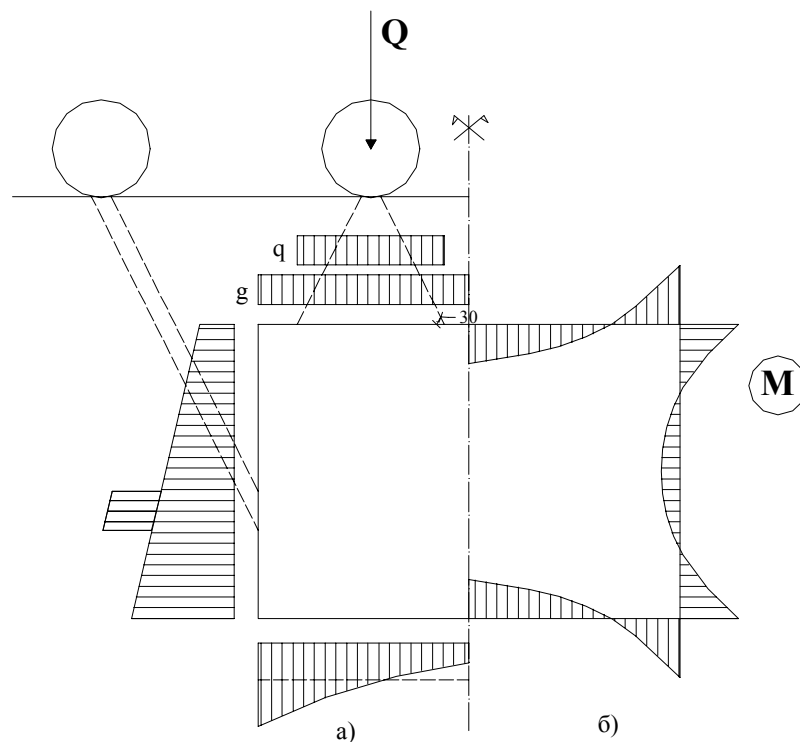


Фиг. 3.1. Монолитна едноотворна затворена рамка във варианти: а) без вути; б) с вути; р.ф. - работни фуги.

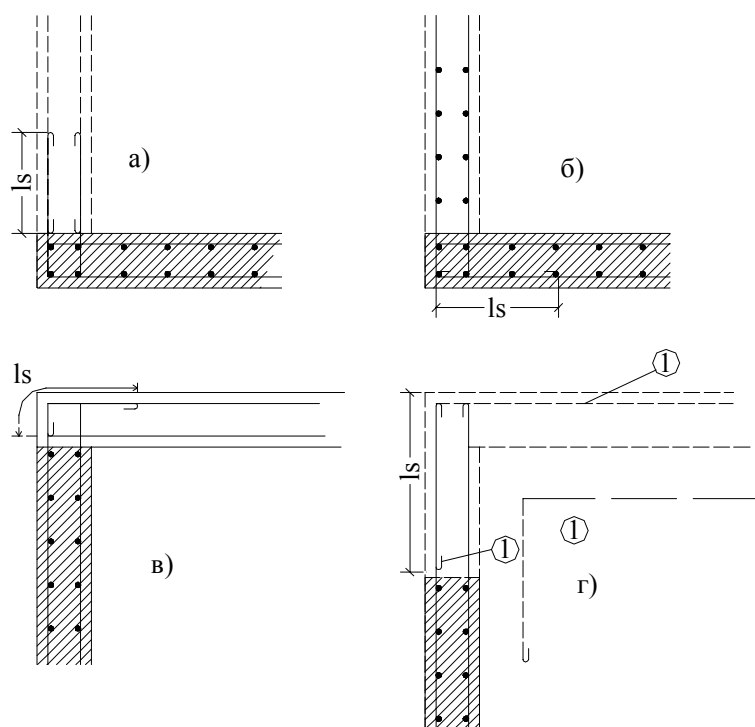
На фиг. 3.2 е дадена изчислителната схема и моментовата диаграма на едноотворна рамка. За вертикалните натоварвания върху покривната плоча вж. т. 2.2 на настоящите записки. Върху стените действа земен натиск при покой (вж. курса по “Земна механика”). Трябва да се отчете и увеличението на земния натиск от превозни средства стъпили върху призмата на обрушване, като се взема предвид разположението на пътните платна или коловозите. Тези натоварвания може да са приложени и едностранно.

Почвената реакция се определя, като се разглежда конструкцията на еластична основа и решението може да се извърши с помощта на компютърна програма. Ако дънната плоча се приеме идеално корава, почвената реакция представлява равномерно разпределено натоварване. При това може да се ползват готови формули за изчисление на рамки, намиращи се в някои наръчници, или да се смята “на ръка”. Приемането на корава дънна плоча дава по-големи моменти в нея, в сравнение с решението на конструкцията на еластична основа. С оглед поемането на моментите и напречните сили във възлите е целесъобразно да се предвидят вути, фиг. 3.1 б). Обаче по-прост е кофража, ако няма вути, фиг. 3.1 а).

Опънатата армировка в ъглите на рамката се разполага от външната им страна (вж. моментовата диаграма от фиг. 3.2). По технологични съображения в рамковите възли най-лесно се снаждат армировъчните пръти, фиг. 3.3. Снаждането в долните възли се извършва над нивото на дънната плоча, фиг. 3.3 а). При това чакащите пръти за стените са сравнително къси. При снаждане в дънната плоча трябва да се предвиди още едно снаждане в стените. То може да се избегне, ако армировката за стените е с цялата си дължина, фиг. 3.3 б). Това е възможно, ако при изливането дънната плоча вертикалната армировка е достатъчно укрепена. Снаждането в горните възли трябва да бъде разположено над долната повърхност на покривната плоча, фиг. 3.3 в). В противен случай работната фуга трябва да бъде под плочата, което изисква по-сложен кофраж, фиг. 3.3 г).



Фиг. 3.2. Едноотворна затворена рамка: а) изчислителна схема; б) моментова диаграма



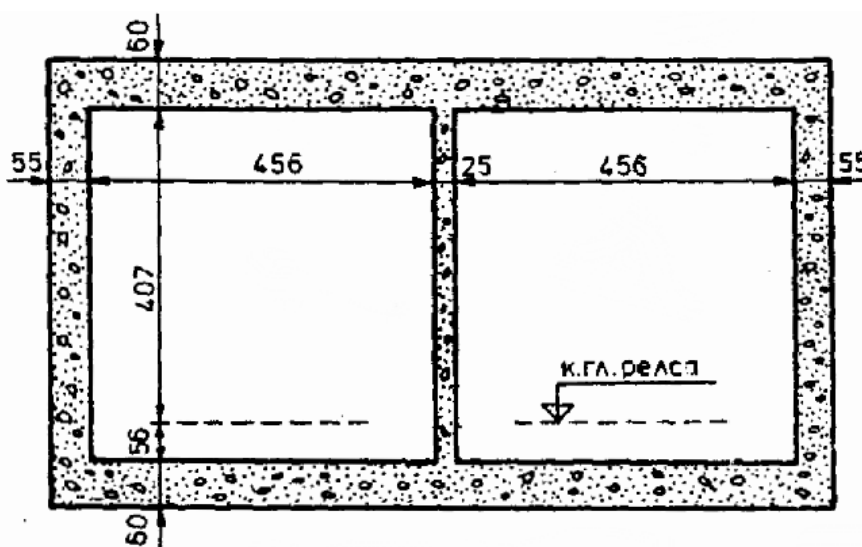
Фиг. 3.3. Снаждане на армировката в рамковите възли: а), в) удачно; б), г) неудачно.

По отношение разхода на бетон и стомана едноотворните затворени рамки са рационални за светли широчини до около 5 m. При по-големи отвори значително нарастват моментите в покривната плоча и тогава е по-добре тя бъде оребрена, а не плътна. При по-големи отвори почвената реакция в дънната плоча е малка и е по-добре всяка стена да стъпва

на отделен фундамент. Тези обстоятелства не бива да се абсолютизират. Така при високи почвени води се налага хидроизолация на тунела от всичките му страни (вкл. отдолу) и тогава дънната плоча не може да бъде избегната. С оглед опростяване на изпълнението, напоследък не са изключение рамките с отвори около 10 m, вж. раздел 8.

На фиг. 3.4 е показана двуотворна рамка от монолитен стоманобетон, приложена за метротунелите в София. Начинът на изпълнение и статическата работа на двуотворните рамки са подобни на едноотворните. Междинната стена е приета по тънка от крайните, понеже моментите в нея са малки и те се дължат на:

- несиметрично натоварване на покриващата конструкция;
- подвижен товар върху призмата на обрушване при една от крайните стени;
- земетръсно въздействие.



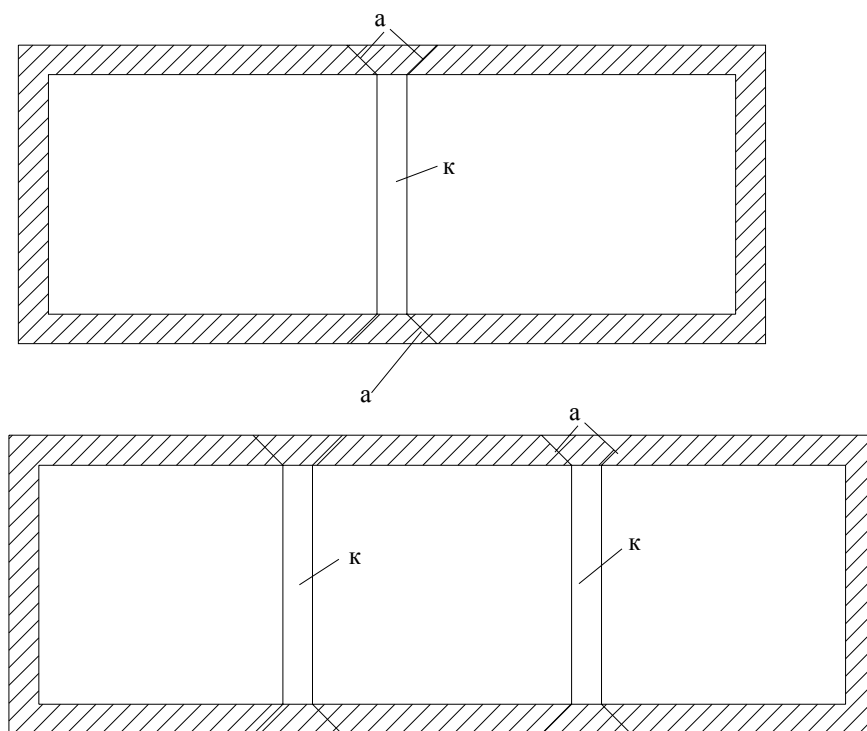
Фиг. 3.4. Двуотворна монолитна рамка за метротунел в София.

В някои случаи вместо междинната стена се предвижда колонада, фиг. 3.5. Това решение се оказва целесъобразно при пешеходни подземи и метростанции. При наличието на колони дънната и покриващата плоча трябва да бъдат осигурени срещу продънване.

Предимства на решението с монолитни рамки са:

- по-добро разпределение на усилията в сравнение със ставните рамки;
- многократната статическа неопределимост на системата е особено благоприятна при поемането на земетръсните въздействия;
- изложените предимства от изчислителен характер водят и до по-нисък разход на материали в сравнение със сглобяемите конструкции;
- наличието само на работни фуги е целесъобразно и с оглед намаляването на местата на потенциалните течове.

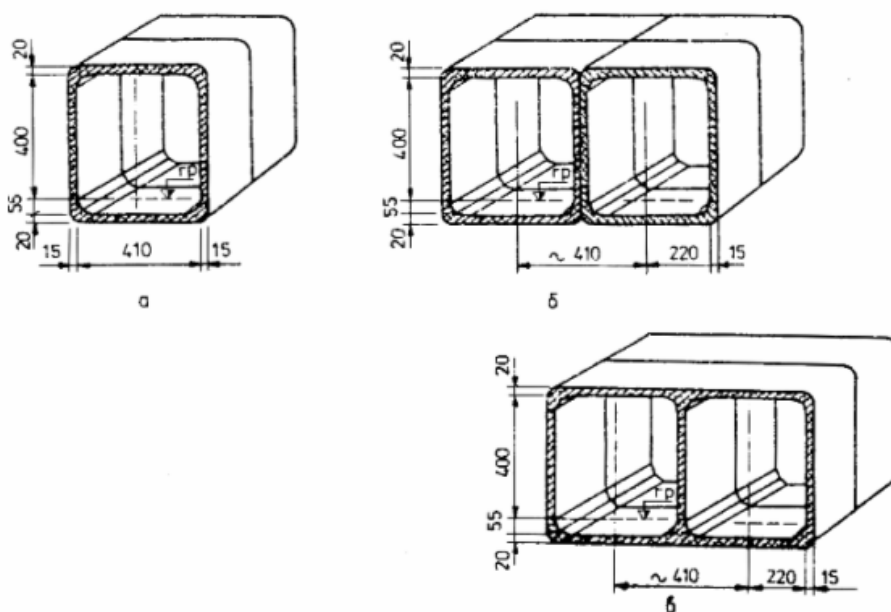
Общ недостатък на монолитното строителство е големия обем строителни работи извършвани на обекта. За рационализиране на изпълнението се прилагат инвентарни кофражи (и най-добре едроразмерни), монтират се предварително приготвени окрупнени арматуровъчни скелети и се използва ефективна техника за транспорт, полагане и уплътняване на бетона, вж. примерите от раздел 8.



Фиг. 3.5. Монолитни рамки с колонади (к); повърхнини на продънване (а).

3.2.2. Сглобяеми рамки от целосекционни елементи

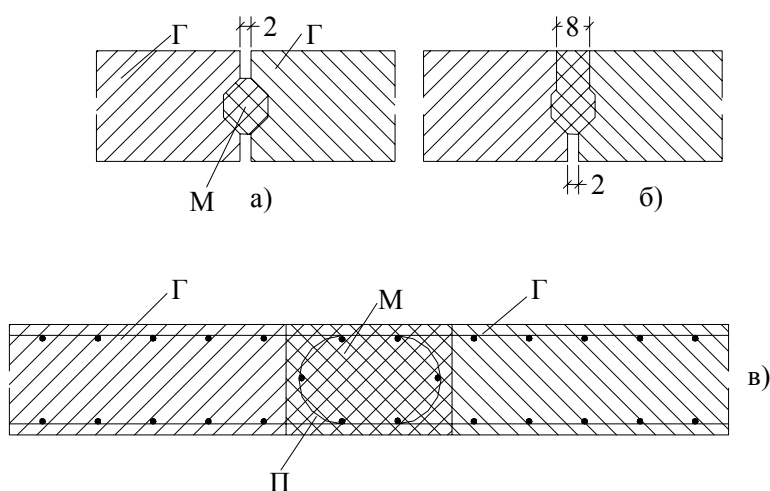
На фиг. 3.6 а) е показана едноотворна затворена рамка за метротунел, изграждан от целосекционни елементи. Елементите имат същото напречно сечение като монолитните, но се произвеждат в строителни предприятия.



Фиг. 3.6. Рамки от целосекционни елементи: а) за еднопътен метротунел; б), в) за двупътени метротунели.

Елементите се изливат в легнало състояние, т.е. сечението на тунела при производството на елемента е успоредно на терена. Размерът на секциите (мерен по дължината на тунела) обикновено не превишава 3 m и се избира с оглед възможностите на монтажните кранове. При транспорта на елементите от съществено значение са не само теглата, но и размерите им. Трябва да се има предвид, че превозването на извънгабаритни товари изисква спазването на специални изисквания за движението по пътищата или железниците.

При близко разположени коловози на метрото може да се използват еднотворни секции, които се допират, фиг. 3.6 б). Прилагани са и двуотворни секции (фиг. 3.6 в), но техните габарити и тегла са по-големи от едноотворните.



Фиг. 3.7. Снаждане на секциите: а) неармирана връзка в стените на съседни елементи; б) неармирана връзка в плочите; в) армирана връзка в стените и плочите; г - готов елемент; м – замонолитващ бетон или циментен разтвор; п – връзка на армировката с петлици

Връзката между отделните готови елементи (г) може да бъде неармирана (фиг. 3.7 а, б). За цялата повърхност на елементите при фугите са така оформени, че се образуват жлебове. След монтажа там се замонолитващ бетон или циментен разтвор (м). Жлебовете в горната и долната плочи трябва да са отворени от към горната им страна, за да може да се излее разтвора. Такава връзка действа като ставна. Ако се очакват неравномерни слягвания по дължина на тунела е по-благоприятно във фугата да има армировка, стърчаща от елементите, фиг. 3.4 в). Производството на елементите с армирани връзки е затруднено. Особено е изпълнението на кофража отдолу, през който трябва да минават стърчащите армировъчни пръти.

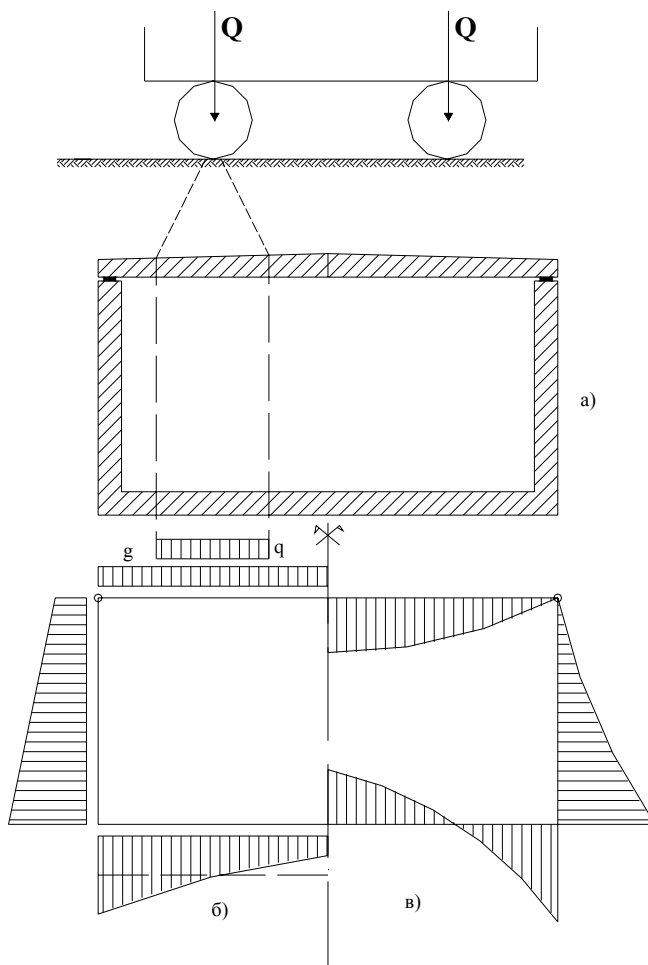
3.3. СТАВНИ РАМКИ

3.3.1. Монолитни конструкции на дънната плоча и стените

На фиг. 3.8 а) е показан напречен разрез на тунел. Дъното и стените се изпълняват монолитно подобно на рамките от т. 3.2.1. Покриващата конструкция обикновено е

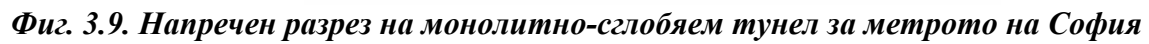
сглобяема, като за формата на елементите и връзките има различни варианти разгледани в т. 3.3.5.

Монолитната част се изследва като рамка с форма на обърнато П, фиг. 3.8 б). Покриващата конструкция работи като проста греда, но за П-рамката тя играе ролята на разпорка. Затова трябва да се осигури поемането на хоризонталната сила във връзката стена-покриваща конструкция. Моментите в П-рамката се получават по-големи, отколкото в затворена рамка без стави. Сглобяема покриваща конструкция се изгражда по-бързо от монолитна, защото монолитните хоризонтални елементи трябва да стоят дълго време кофрирани.

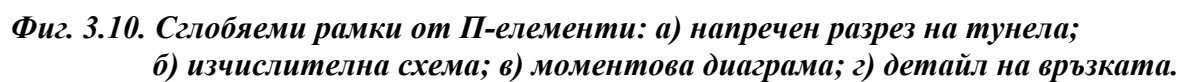


Фиг. 3.8 Тунел с монолитна конструкция на дънната плоча и стените и сглобяема покриваща конструкция: а) напречен разрез; б) изчислителна схема; в) моментова диаграма

На фиг. 3.9 е показан напречен разрез на тунел за метрото на София. Външните стени и дънната плоча образуват монолитна рамка с формата на обърнато П. Покриващата конструкция и междинната стена са сглобяеми. Връзките в горните възли на рамката при крайните и междинната стена са ставни. По отношение на изчисленията, начина на изграждане, предимствата и недостатъците, конструкцията от фиг. 3.9 е сходна с тази от фиг. 3.8.



На фиг. 3.10 а) е показана изцяло сглобяема конструкция, състояща се от два еднакви П-елементи.

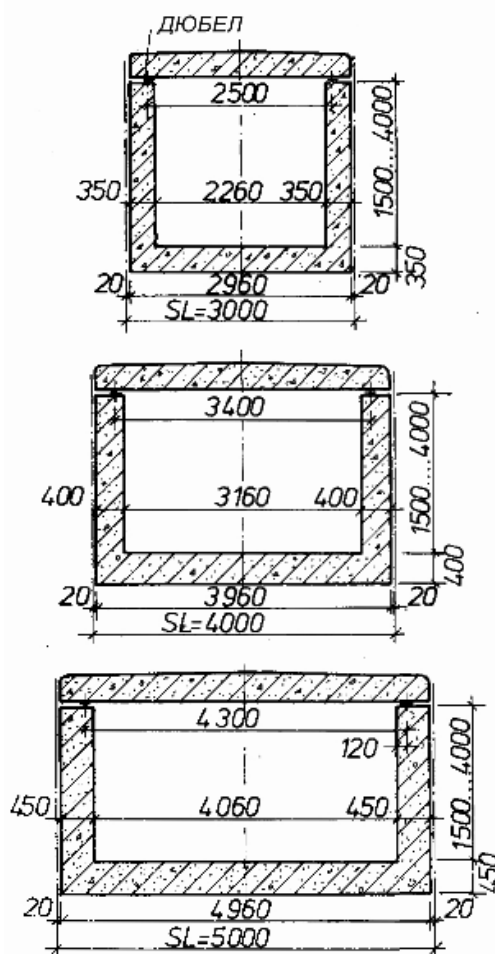


Изчислителната схема на показаната конструкция е рамка със стави разположени по средата на височината на стените. Обикновено триенето между двата елемента е достатъчно за поемането на хоризонталната сила в ставата в експлоатационно състояние. Но връзката трябва да бъде осигурена за едностранен земен натиск в строително състояние и несиметрично натоварване в експлоатация. За целта в елемента са предвидени вбетонирани стоманени части (вложени преди изливането на бетона), фиг. 3.10 г). Те се състоят от планки (1) със заварени към тях армировъчни пръти (2). След монтажа на елементите се заваряват планки (3) към планките (1).

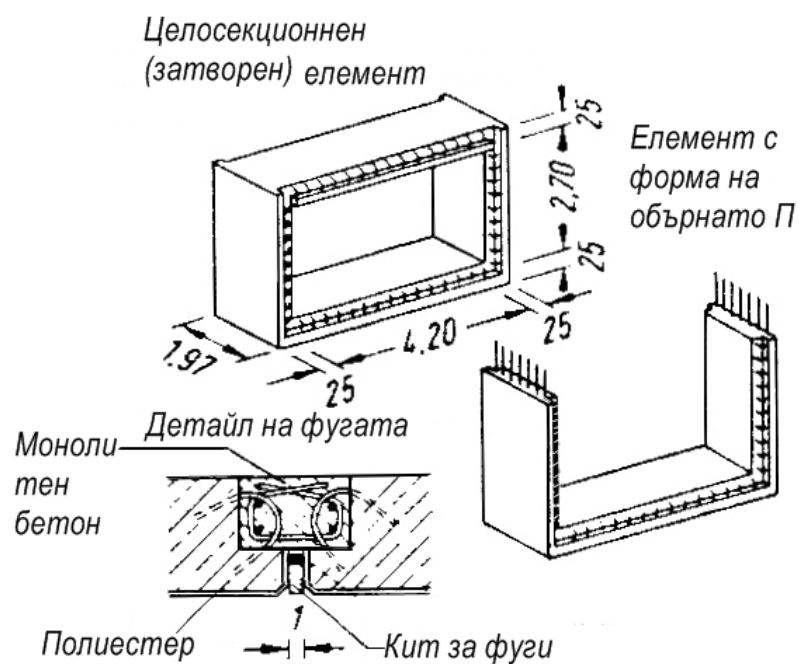
Конструкцията от вида показан на фиг. 3.10 са прилагани на много места в у нас за колектори за инсталации, пешеходни подлези, водостоци и прокари (съоръжения за преминаване на добитък под пътища и ж.п. линии). Светлите отвори на изпълнените у нас съоръжения не надминават 3 m, като теглата на елементите са съобразени с масово използваните автокранове.

Друг вариант на изцяло сглобяеми конструкции са показани на фиг. 3.11 и фиг. 3.11 а. Ползват се два вида готови елемента - дъно обединено със стени (с форма на обърнато П) и покриваща плоча (за вариантите на този елемент вж. т. 3.3.6.). С нарастването на отвора се увеличава монтажното тегло на елемента оформящ дъното и стените и това води до затруднения при производството, транспорта и монтажа.

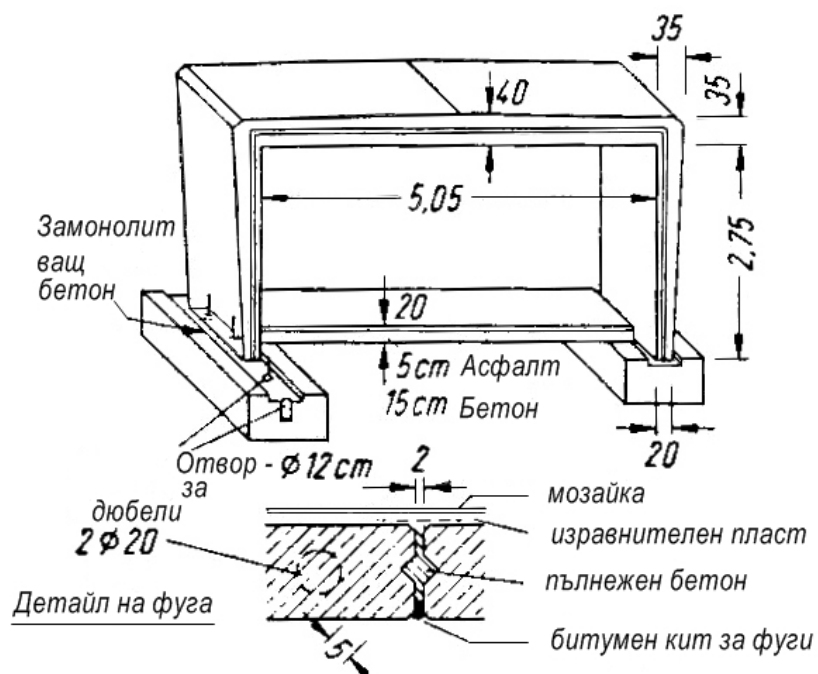
Показаната на фиг. 3.12 и 3.12 а сглобяема конструкция се състои от П-образен елемент оформящ горната плоча и стените, подпрени на монолитни или сглобяеми фундаменти.



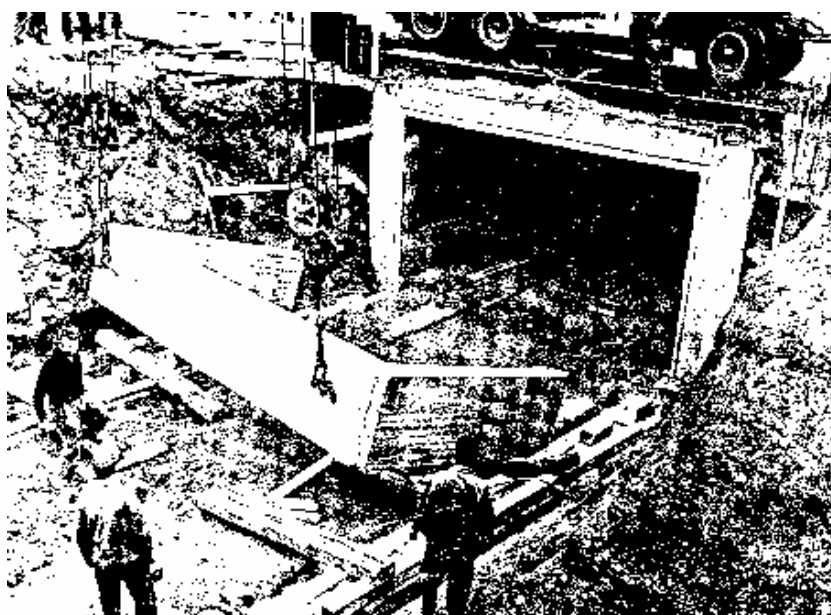
Фиг. 3.11. Типизирани рамки от П-елементи и покривна плоча, прилагани в Източна Германия (мерките са в mm).



Фиг. 3.11 а. Пример за рамка от П-елементи и покривна плоча

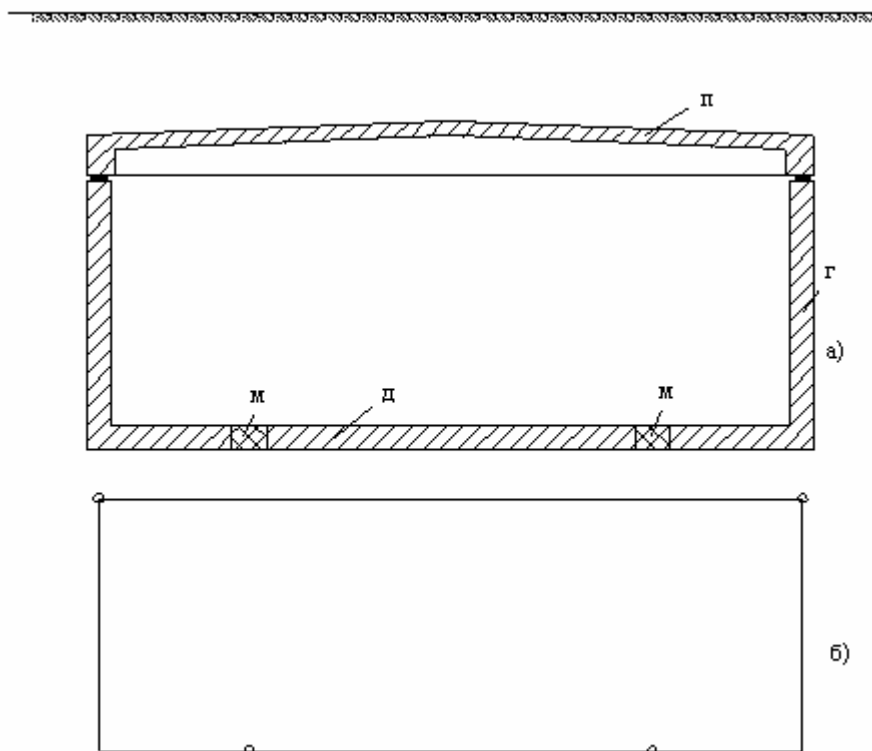


Фиг. 3.12. Сглобяема конструкция от фундаменти и П-образни рамки



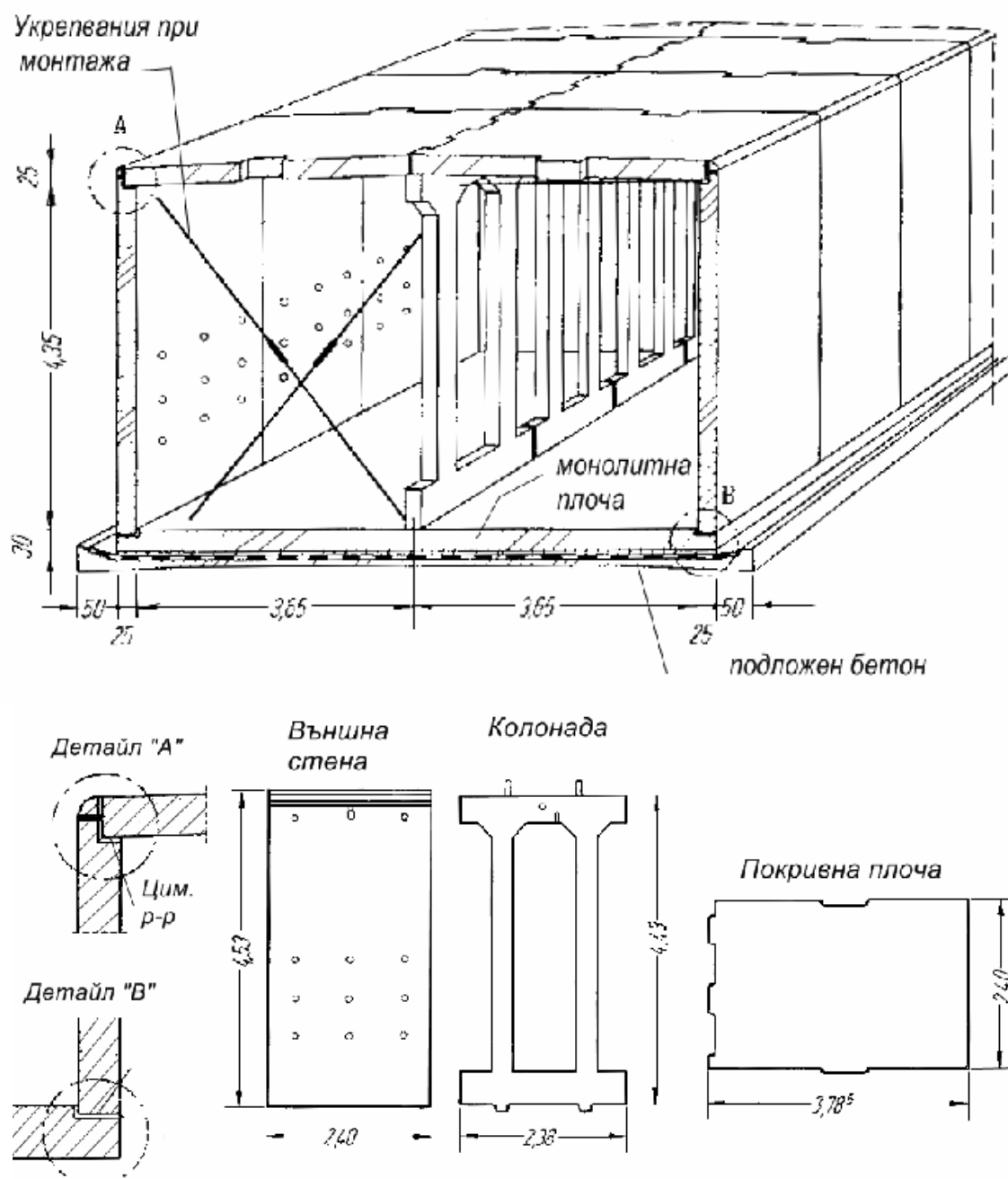
Фиг. 3.12 а. Монтаж на П-образен елемент

При изцяло сглобяемата конструкция от фиг. 3.13 (прилагана в Русия) стените с фундаментите им представляват елемент с формата на обърнато Г. Останалата част от дъното е плочен елемент. При това решение се получават по-малки тегла на монтажните елементи в сравнение с конструкцията от фиг. 3.11 и фиг. 3.12.



Фиг. 3.13. Стени с форма на обърнато Г, свързани с дънна плоча: а) напречен разрез на г – готов елемент за стените и част от дъното; д – дънна плоча м – замонолитващ бетон

Връзките в дънната плоча са ставни, като техните места отговарят на точките с приблизително нулеви моменти в конструкцията на дъното и стените с формата на обърнато П. Статическата схема на конструкцията с Г-елементи е показана на фиг. 3.13 б). Връзките в дънната плоча се изпълняват по детайла от фиг. 3.7. в). Понеже те са приети като ставни дължината на разминаване на армировката е по-малка, отколкото за случая, когато връзката поема момент.

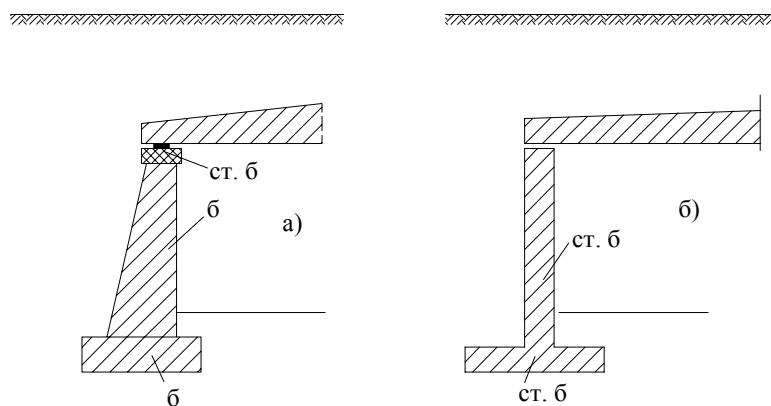


Фиг. 3.14. Сглобяема конструкция със ставни връзки между вертикалните и хоризонтални елементи

На фиг. 3.14 е показана сглобяема конструкция, за която всички връзки между вертикалните и хоризонталните елементи са ставни. Такъв вид конструкция е геометрично изменяема и за стабилизирането ѝ в строително монтажно състояние са предвидени кръстосани диагонални връзки с муфи за регулиране на дължината им и постигане на правоъгълна форма. След засипването връзките се отразяват. В експлоатационно състояние при действието на нееднакъв земен натиск (дължащ се на качествата на почвата или несиметрично разположено подвижно натоварване) се разчита на отпора на почвата (пасивния земен натиск).

3.3.3. Монолитни конструкции на стени с фундаменти

При сравнително голям отвор на покриващата конструкция и липса на високи почвени води, не е необходима дънна плоча. В такъв случай стените стъпват на отделни фундаменти. На фиг. 3.15 а) е показана бетонна, а на фиг. 3.15 б) стоманобетонна стена.

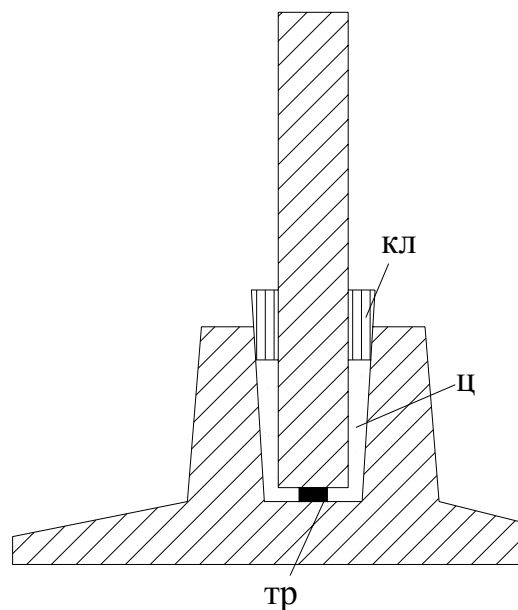


Фиг. 3.15. Монолитни конструкции на стени с фундаменти: а) бетонна; б) стоманобетонна

Монолитните конструкции на стени с фундаменти по форма, изчислително изследване и изграждане са аналогични на бетонните и стоманобетонни устои, разгледани в курса по “Стоманобетонни мостове”, вж. [4], т. 11.2.1 и 11.2.3. Затова тук повече информация не се дава.

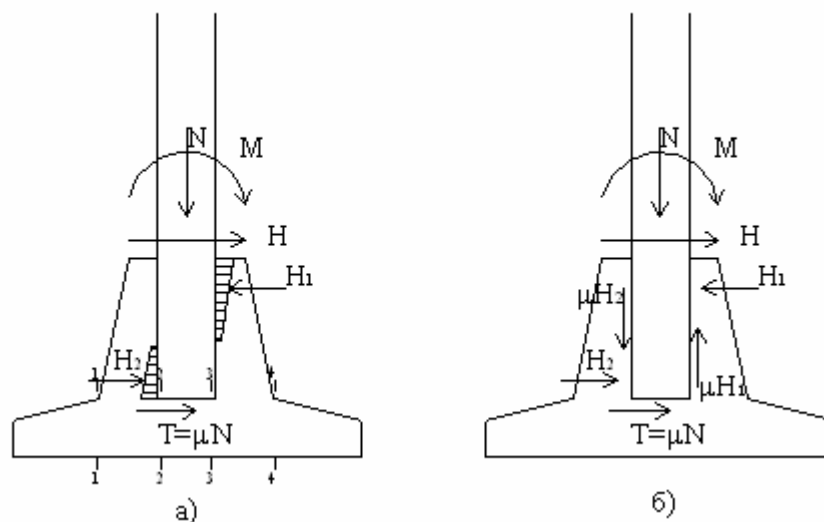
3.3.4. Сглобяеми конструкции на фундаменти и стени

Някои подземни съоръжения у нас са изпълнени със фундаменти и стени от вида показан на фиг. 3.16. Стените са от плоски готови елементи, които се произвеждат легнали, а фундаментите могат да бъдат монолитни или от готови елементи. Стените се монтират в улеите на фундаментите, като се укрепват с дървени клинове (кл). В зависимост от набиването на предните или задните клинове се гарантира вертикалността на стените. Нивото им се регулира с височината на дървени трупчета (тр) положени на дъното на улея и подпиращи стената. След фиксирането ѝ празнините между стената и фундамента се запълват с циментен разтвор (ц).



Фиг. 3.16. Сглобяеми конструкции от стенни елементи и фундаменти с улей.

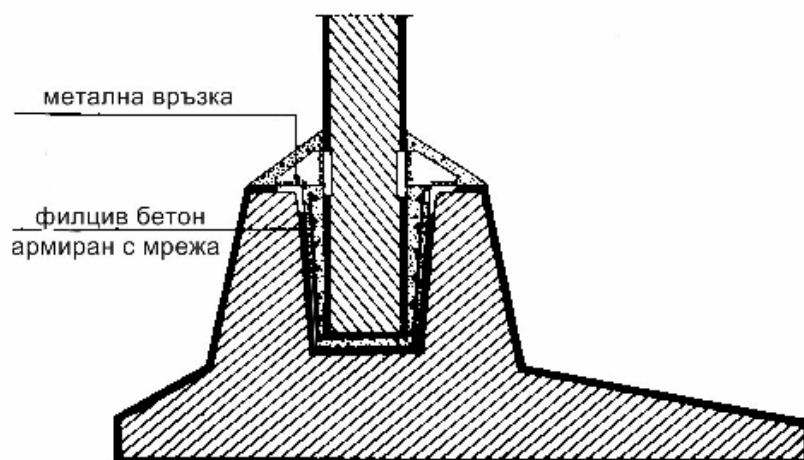
На фиг. 3.17 а) е показан опростен изчислителен модел на връзката фундамент-стена. Вертикалната сила от стената се предава на фундамента чрез плочата му в дъното на улея. Тя трябва да бъде проверена да понесе напречните сили в разresi 2-2 и 3-3. Конзолите на фундамента са подложени на огъване. За дебелината им и армировката се оказват меродавни проверките за поемане на огъващи моменти и напречни сили в разresi 1-1 и 4-4.



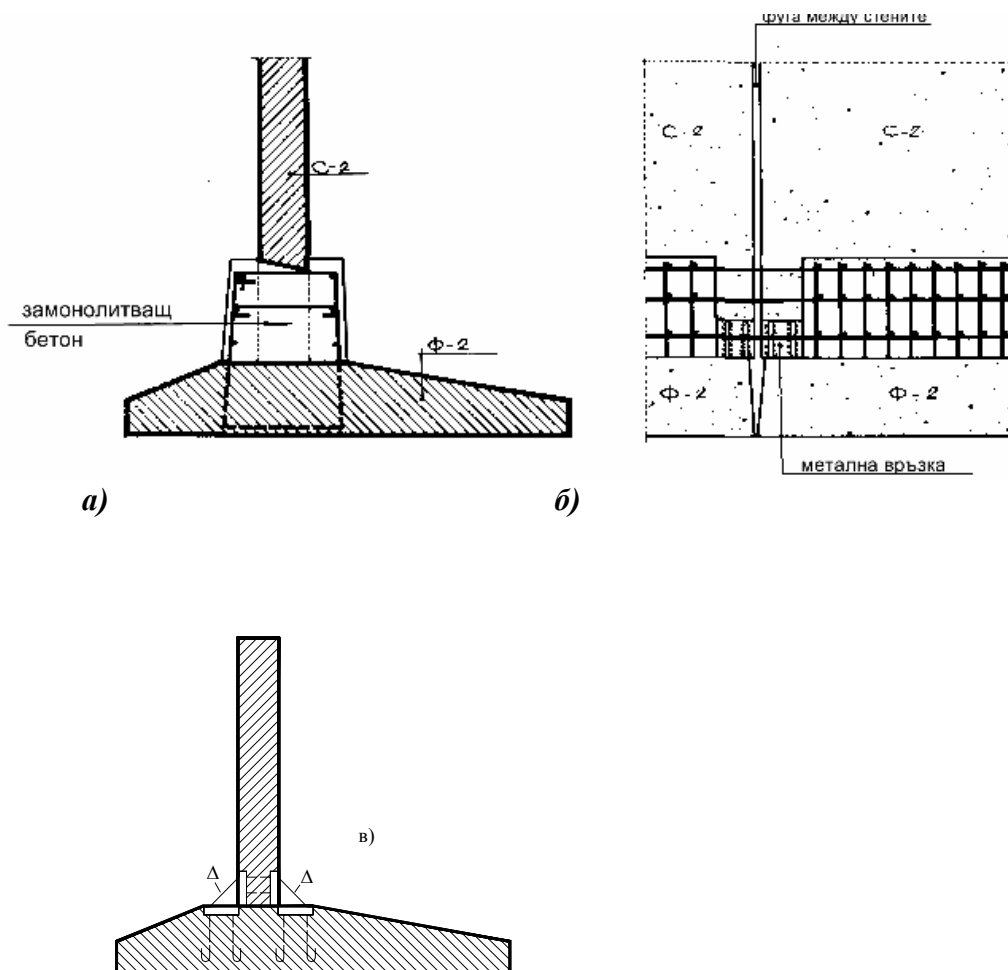
Фиг. 3.17. Изчислителни модели на връзката фундамент с улей-стена:
а) без отчитане на триенето по вертикалните плоскости;
б) с отчитане на триенето по вертикалните плоскости.

Преди около 30 год. в София бяха изпълнени някои сглобяеми подземни съоръжения като подлезите пред ЦУМ и при Полиграфическия комбинат. При проектирането им бе установено, че фундаменти с улей (фиг. 3.16) се получават силно армирани. Затова бяха приложени по-рационални решения, като показаното на фиг. 3.18. При него се осъществява допълнителна връзка на стените и фундаменти чрез заваряване на стоманени части. При

това предната и задната стена на улея поемат по-равно хоризонталната сила и армирането е по-леко в сравнение с изпълнението от фиг. 3.16. За защита срещу корозия стоманените части допълнително се покриват с монолитен бетон.

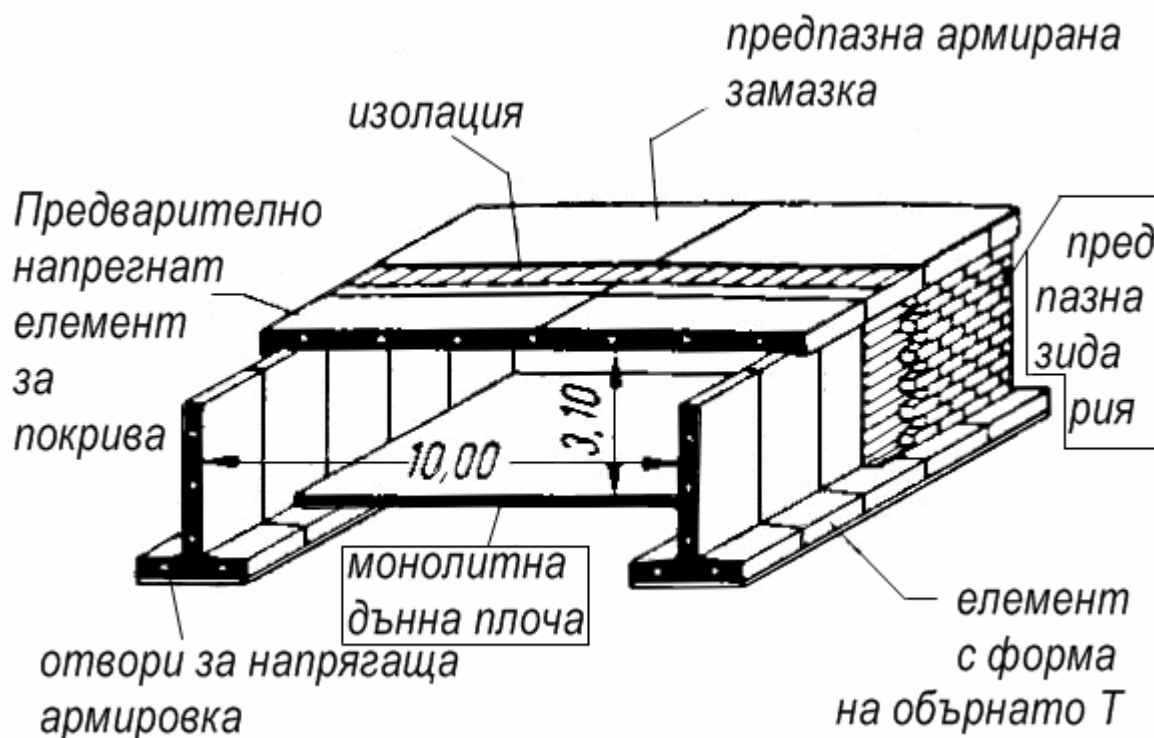


Фиг. 3.18. Детайл на стена и фундамент с улей с допълнителни стоманени връзки.



Фиг. 3.19. Сглобяема конструкция от стенни елементи и плоски фундаменти
а) напречен разрез а-а; б) изглед; в) разрез в-в

Друга възможност, приложена у нас по същото време, е показана на фиг. 3.19. Фундаментът представлява плоча с променлива дебелина, от която стърчат вертикални армировъчни пръти. Стената е с такава форма, че в двата си края стъпва върху фундамента. В останалата ѝ част е с чакащи пръти, които се снаждат чрез разминаване с прътите от фундамента. Фиксирането на стената се изпълнява по детайла показан на фиг. 3.19 в). Във фундаментите и в краищата на стените има вбетонирани стоманени части. Осъществява се връзка между тях чрез заваряване на триъгълни вертикални стоманени планки. След това се полага допълнителна армировка и се бетонира удебелението над фундаментната плоча. При този вариант сумарният разход на бетон и армировка във фундамента и стената се доближава до този на монолитна конструкция. Недостатък в случая е по-трудното фиксиране на стената в сравнение с детайла с улей.



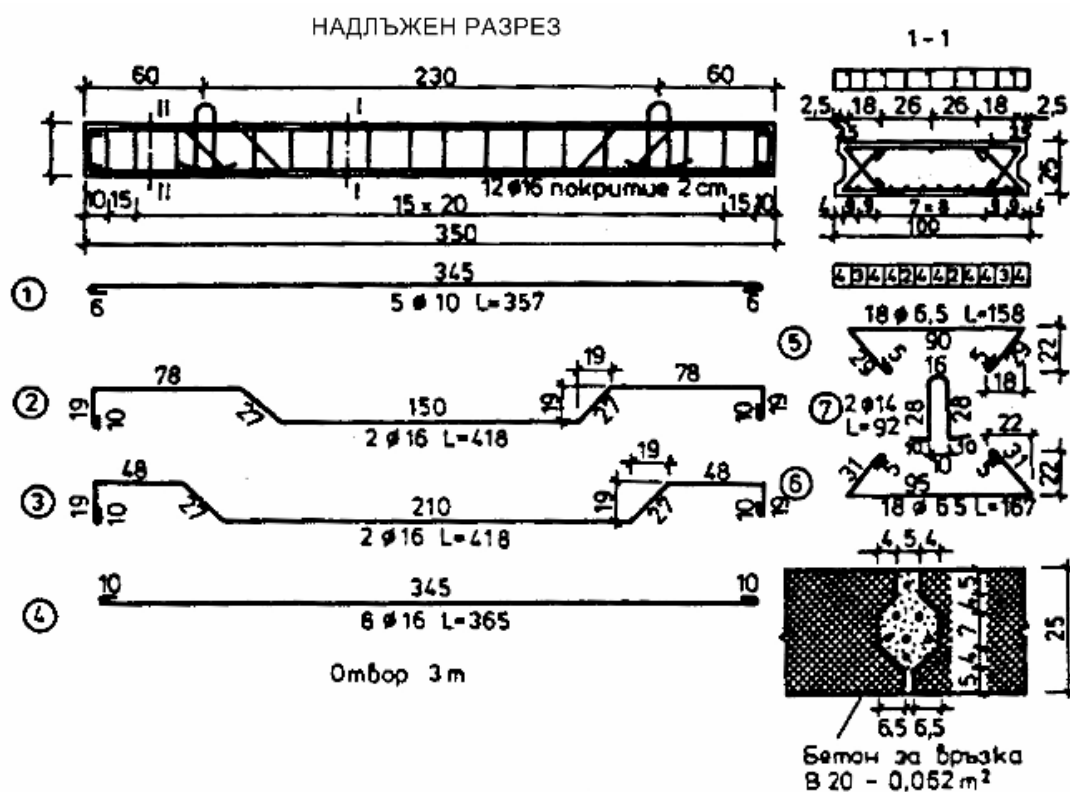
Фиг. 3.20. Сглобяема конструкция с елементи с форма обърнато Т

Изпълнение подобно на монолитното има в случая, при който стената и фундаментът представляват един готов елемент с форма на обърнато Т (с отстъпи с еднакви или различни дължина), виж фиг. 3.20.

3.3.5. Сглобяеми покриващи конструкции

Сглобяемите покриващи конструкции на тунелите изпълнявани по открит способ обикновено са с изчислителна схема проста греда. За намаляване на усилията в стените двете подпори се приемат неподвижни и те трябва да могат да поемат хоризонталната сила, получена от работата на покриващата конструкция като разпорка. Във връзка с това покриващата конструкция трябва да се изчислява за нецентричен натиск.

Най-проста форма имат елементите с пълностенно сечение, фиг. 3.21. Страничните повърхности на тези елементи са така оформени, че при нареждането им между тях се образуват жлебове, които в последствие се запълват с неармиран бетон. Тази връзка действа като дюбел и пренася само напречни сили, поради което действа като несъвършена става. Изчислителната схема се нарича *ставен гредови ред*. Тази връзка има недостатъка, че при променливо натоварване и разтоварване, предизвикващо завъртвания в различна посока се получава изтриване на бетона във връзката, водещо до влошаване на напречното разпределение на подвижните товари. При подземните съоръжения този недостатък има все по-малко значение при увеличаването на дебелината на насипа и относителното намаляване на усилията от подвижни товари.

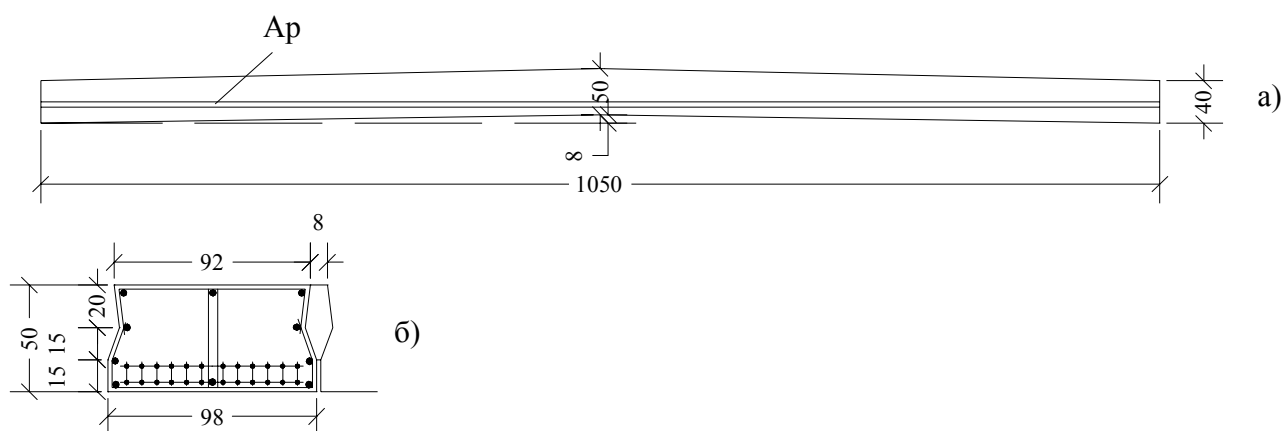


С оглед на отводняването, за едноотворни конструкции се оказва подходяща двускатната форма (фиг. 3.11), т.е. най-голяма е дебелината на елемента в средата, където са и максималните стойности на огъващите моменти. Напречните сили при подпорите се поемат без затруднения в плътното сечение, въпреки намалената му височина.

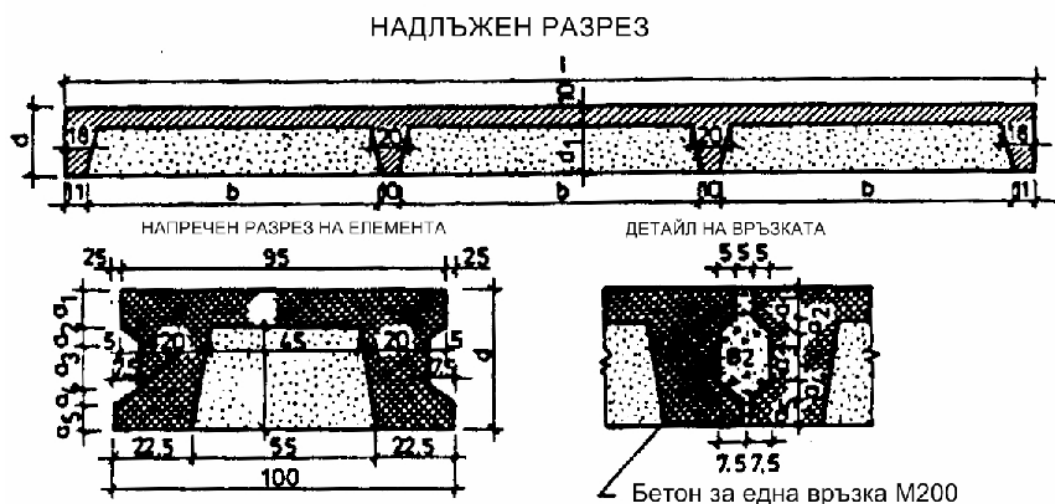
38

Горната и долната повърхности на елементите са с наклони към краищата им. Главна им армировка е предварително напрегната на стенд и се състои от оребрени телове с овално напречно сечение. В средата на елемента, където е максималният момент, армировка е разположена възможно най-близо до долната им повърхност. При опорите центъра на тежестта на напрегащата сила е разположен в ядрото на сечението, с оглед да не се получават опънни напрежения в горния ръб от напрегаща сила. Това се постига благодарение на избрания начин на оформяне в надлъжно направление.

Друга вариант на сглобяема покриваща конструкция е с П-елементи. На фиг. 3.23 е показан типов проект на “Пътпроект”, предназначен първоначално за върхни конструкции на мостове и водостоци с малки отвори. Същите елементи са прилагани за покриващ покриващи конструкции на тунели изпълнявани по открит способ.

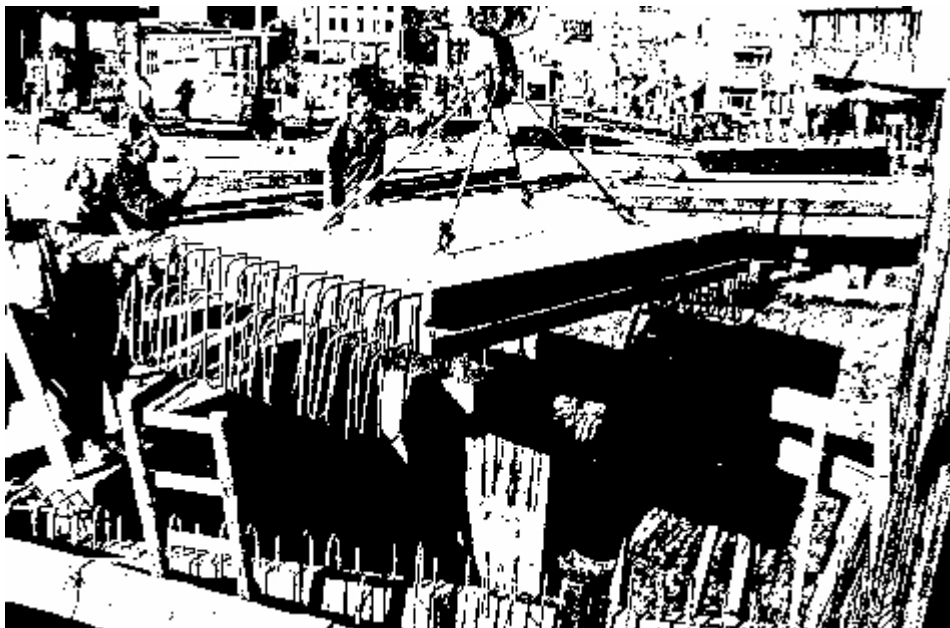


Фиг. 3.22. Предварително напрегнати елементи с плътно сечение за покриващи конструкции: а) надлъжен разрез; б) напрегаща армировка; в) напречен разрез; г) връзка между елементите – д за монолитващ бетон.

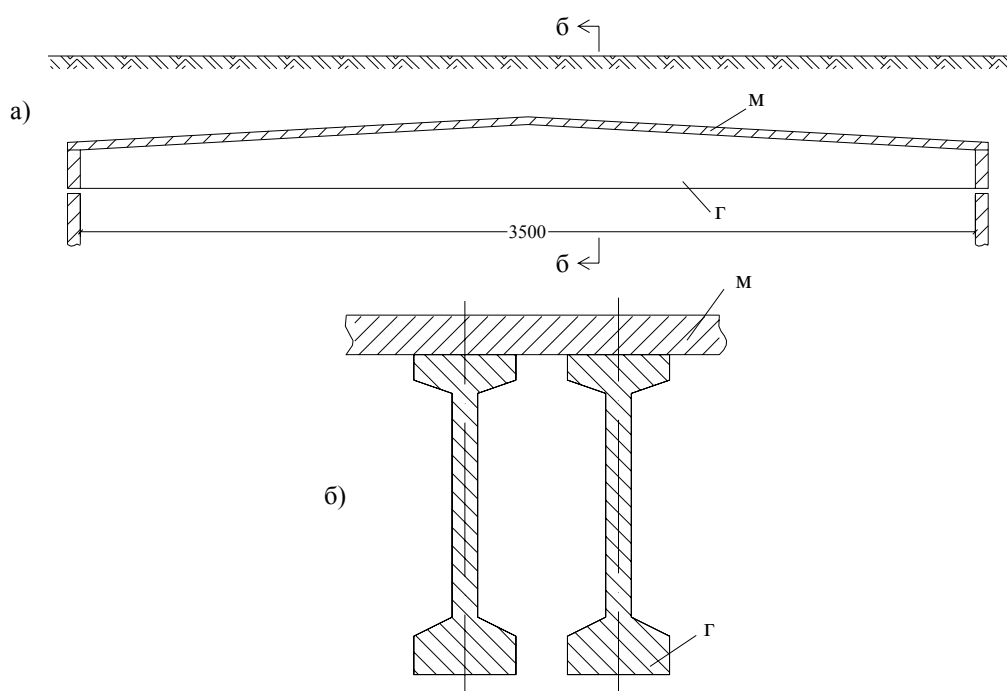


Фиг. 3.23. Сглобяема покриваща конструкция с П-елементи

Разгледани до тук покриващи конструкции имат ставна връзка със стените. На фиг. 3.24 е показан монтаж на елемент за покриваща конструкция, при който връзката между стените и горната плоча е корава. Тя се осъществява посредством чакащи пръти.



Фиг. 3.24. Монтаж на елемент от сглобяема конструкция, която има корава връзка между стените и горната плоча

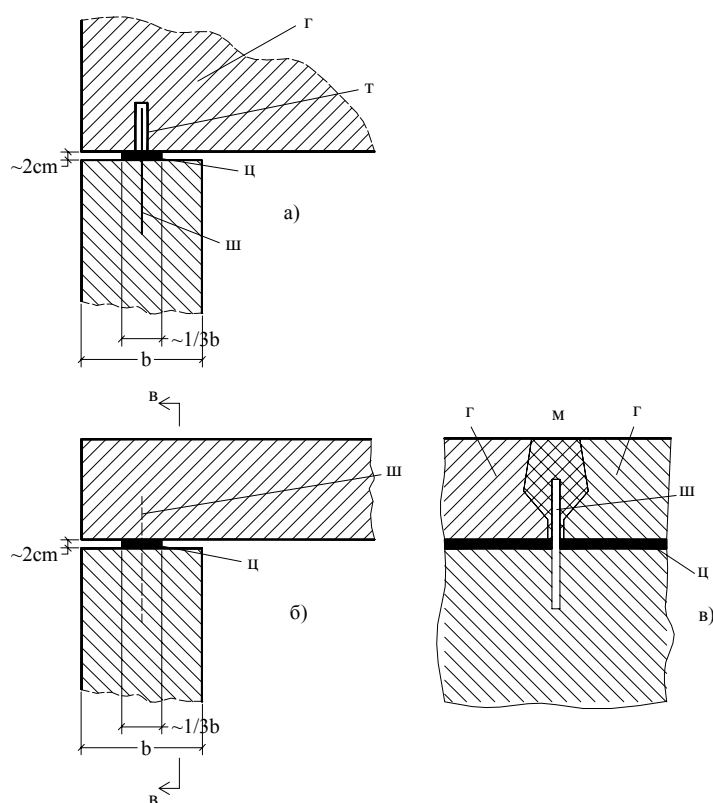


Фиг. 3.25. Фрагмент на сглобяемата покриваща конструкция на тунела при НДК.
а) напречен разрез през тунела; б) разрез б-б; означения: г – готови греди;
м – монолитен бетон

При НДК е изграден тунел за автомобилно, трамвайно и тролейбусно движение. В зоната на спирките на градския транспорт широчината на тунела е 35 m и покриващата му конструкция е под насип с дебелина средно 2 m. Големия отвор и тежкия постоянен товар

оправдават прилагането на предварително напрегнат бетон. Готовите греди с двойно Т сечение са предварително напрегнати на стенд (преди бетонирането), фиг. 3.25. След монтирането им върху тях е излята монолитна плоча. Двускатната форма на гредата е благоприятна с оглед на отводняването и усилията в отделните разрези. При изходите на същия тунел (където отворите са по-малки) покриващата конструкция е монолитна плоча с кухини.

Готовите елементи на покриващите конструкции, които имат ставна връзка със стените обикновено се подпират върху стените на пласт от циментен разтвор, фиг. 3.26. Размерът на площта на подпиране в план се определя от проверката на местен натиск. Хоризонталната сила (дължаща се на работата на конструкцията като разпорка) обикновено се поема чрез шипове.

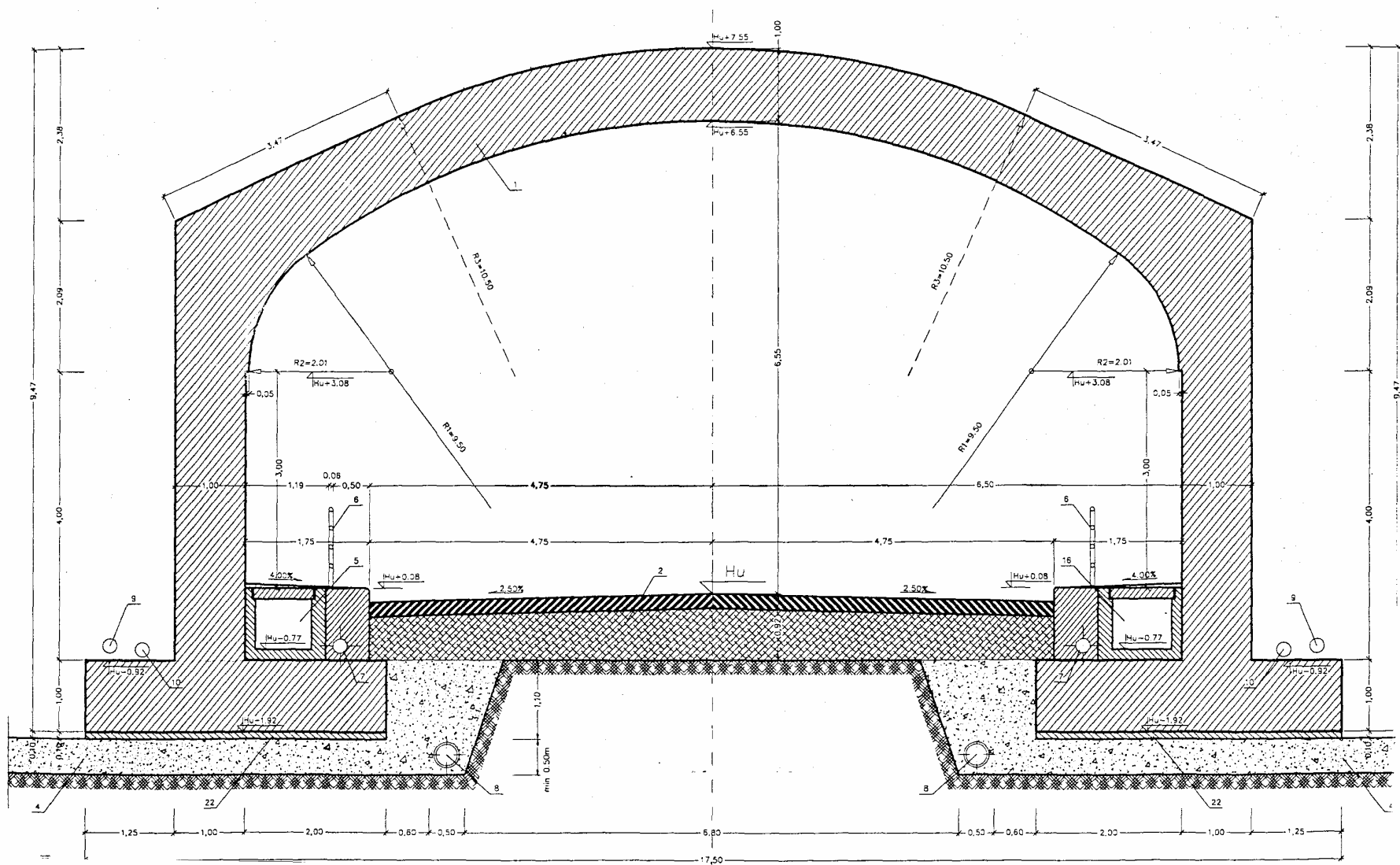


Фиг. 3.26. Детайл на връзка между стените и покриващата конструкция
а) със шип (ш) влизащ в тръба (т) в готовия елемент (г);
б) със шип (ш) влизащ в замонолитващия бетон (м);
ц – циментен разтвор при подпирането

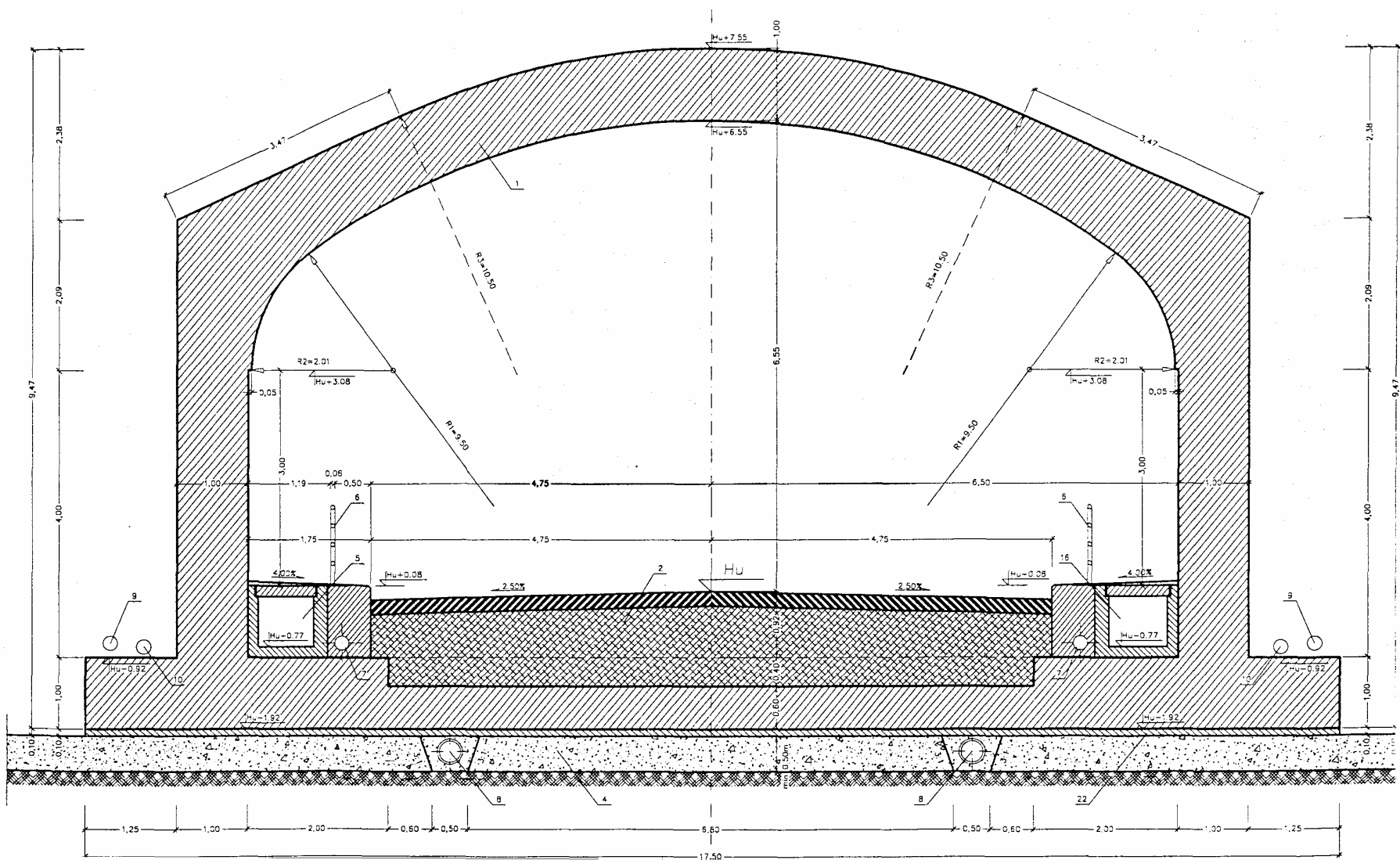
3.4. СВОДОВИ КОНСТРУКЦИИ

При голяма дебелина на насипа над конструкцията в рамковите конструкции се получават значителни огъващи моменти. В този случай по-удачни се оказват сводовете, тъй като в тях преобладават нормалните сили. Но сводовите конструкции имат недостатък, че при вписването на габаритите се приемат по-големи светли сечения в сравнение с рамките.

На фиг. 3.24 и 3.25 са показани напречни разрези на строящия се сега тунел по пътя Гоце Делчев-Драма. Дължината на съоръжението е 450 m, от които 150 m са на българска територия, а останалите 300 m на гръцка..



Фиг.3.27. Напречен разрез на тунела по пътя Гоце Делчев-Драма, конструкция без дънна плоча.

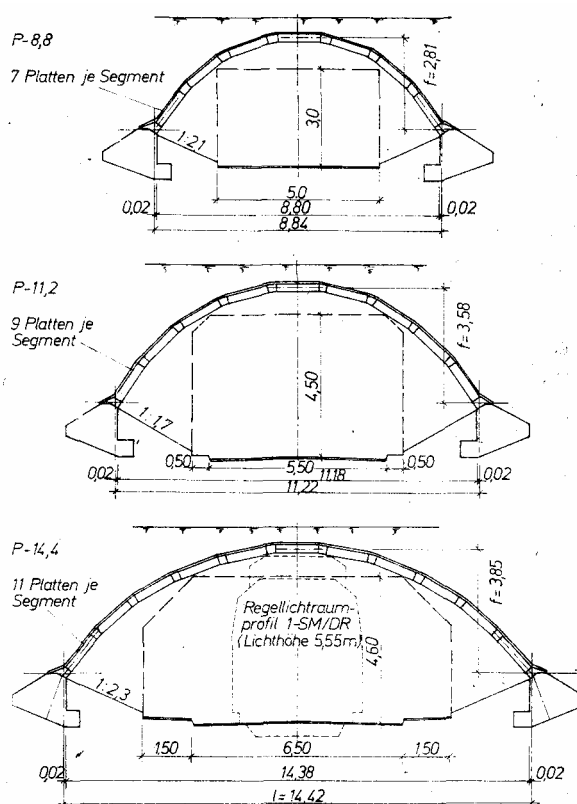


Фиг.3.28. Напречен разрез на тунела по пътя Гоце Делчев-Драма, конструкция с дънна плоча.

Насипът над ключа достига до 15 m, което оправдава решението със свод. Сводът е оформен по крива с радиус 9,50 m, в средата и 2,01 m – в краищата, а стените са вертикални. В участъците с голям насип е предвидена дънна плоча, докато при порталите тя липсва. Чупката при връзката между свода и вертикалните стени е за подчертаване на работната фуга. Друга възможност е кривата да тангира във вертикалната стена, но тогава разликата в цветовете на бетоните на свода и стени ще създава по-неблагоприятен външен вид.

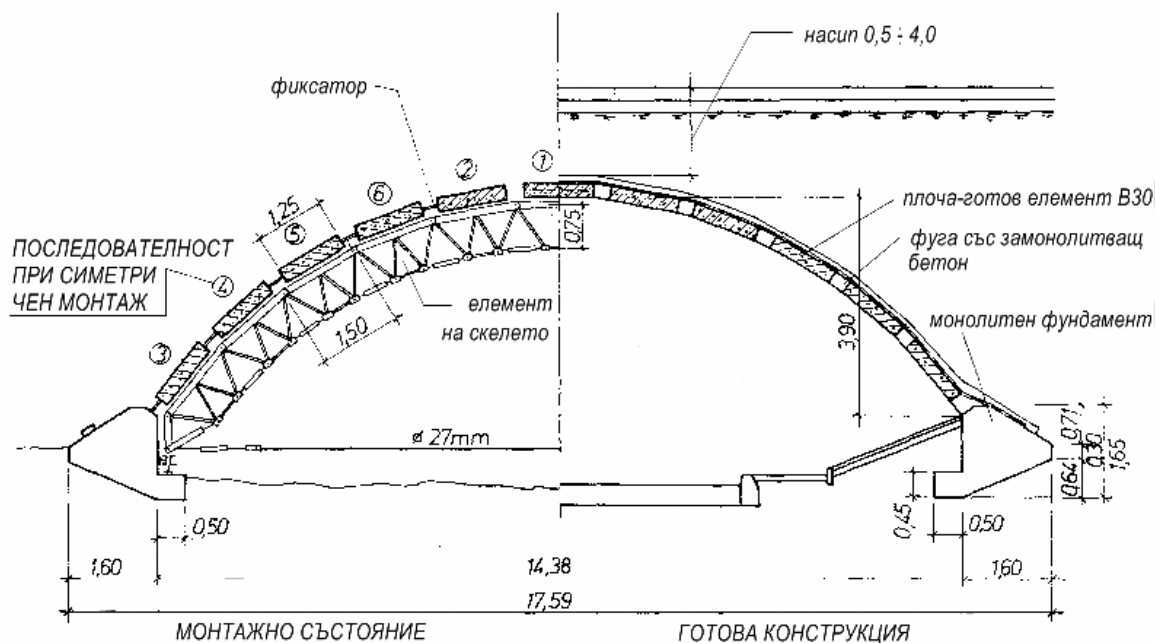
Геометричната форма е приета с оглед икономично да се вписват габаритите за пътните платна и тротоарите. Но целесъобразно е оста на свода да се приеме по *натискова линия*. В този случай моментите и напречните сили от постоянни товари са нулеви, а от подвижни товари тези усилия са малки. Приносът на подвижните товари намалява с увеличаване на дебелината на насипа, водеща до по-равномерно разпределение на концентрираните сили. В същото време се увеличава и относителната стойност на усилията от постоянни товари. Очертанието на свод по ос отклоняваща се от натисковата линия се прави с оглед на габаритите и по технологични причини. За разглеждания обект огъващите моменти във свода и стените са значителни, което изисква армирането на всичките елементи.

Тунелът се намира в масив от силно напукани скали, затова след направата на изкопа откосите му се укрепват със скални анкери. Конструкцията се изгражда на секции от по 12 m. Ковражите за фундаментите, стените и кръжилата за свода са специално изработени за целта. Тяхната дължина покрива една секция от 12 m. При съобразяване със сроковете за декофриране, кофражите се преместват към следващата секция. Приетата последователност предполага след бетонирането на фундаментите в дадена секция, кофражът да се премести в съседната. Също така изпълнението на стените изпреварва поне с една секция това на свода.

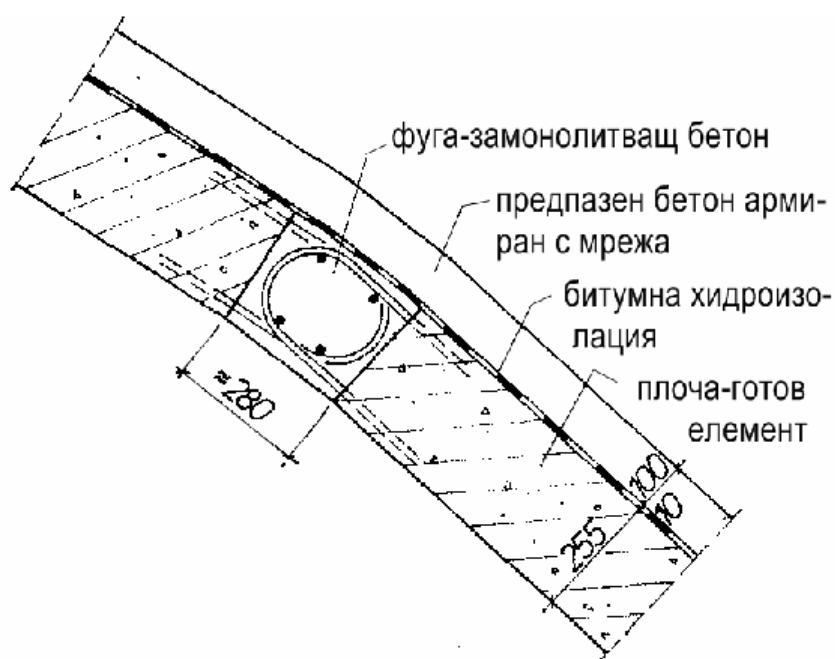


Фиг. 3.29. Напречни разреза на сглобяеми сводове под насип

Сводовете могат да бъдат и със сглобяемо изпълнение. На фиг. 3.29 са показани сводове от готови плоски елементи, които се произвеждат в прости кофражни форми. Монтират се върху инвентарни скелета, фиг. 3.30. Фугите между съседните елементи се запълват с бетон, в който е разположена чакаща армировка от съседните елементи, фиг. 3.30. Образува се връзка от така наречения тип с *петлици*, при което снаждането се осъществява на по-малко място в сравнение със снаждането чрез разминаване на прави пръти.



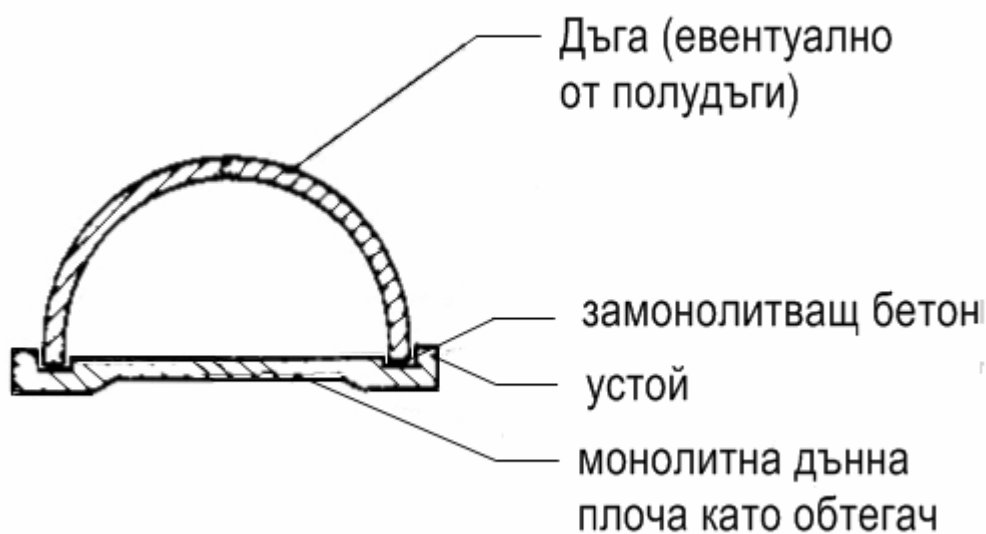
Фиг. 3.30. Скеле за сглобяем свод



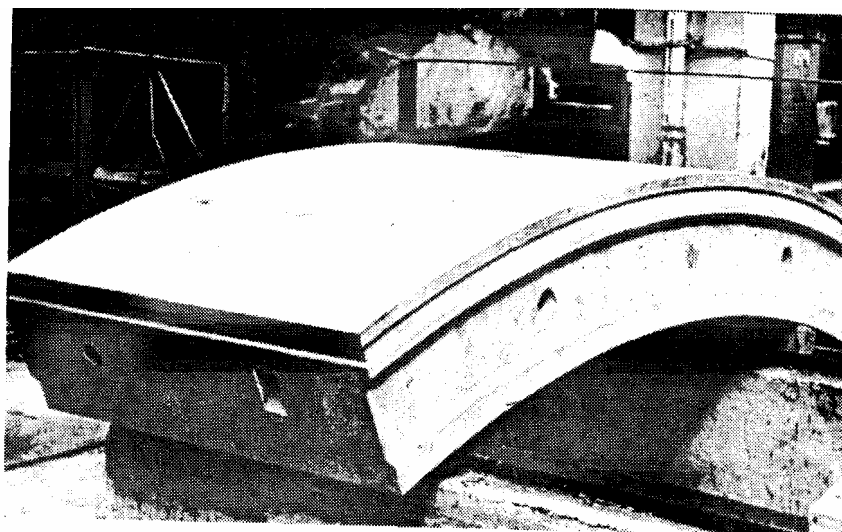
Фиг. 3.31. Връзка с монолитен бетон в свод под насип

За да не се окаже неблагоприятно строителното състояние, насипването от двете страни на свода трябва да се извършва равномерно и на тънки пластове. Вибрационни валяци действащи на насип с малка дебелина над на свода, могат да предизвикат значителни усилия в конструкцията.

Типичната форма на сводовете е криволинейната, защото в този случай оста по-плътна може да се доближи до натисковата линия. На фиг. 3.32 е показан сглобяем свод, чиито елементи с криволинейни повърхности за. За опростяване на изпълнението всички елементи може да бъдат с постоянен радиус и еднакви геометрични размери и армировка. Елементите могат да бъдат със форма на полукръг и така се оформя двуставна рамка или четвърт от кръг за триставна рамка



Фиг. 3.32. Сглобяем свод с елементи очертани по окръжност



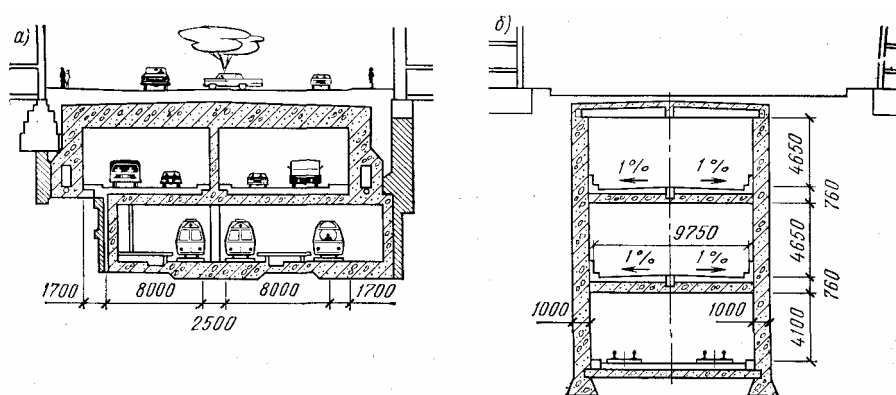
Фиг. 3.33. Готов елемент за свод оформен по окръжност

4. ПОДЗЕМНИ СЪОРЪЖЕНИЯ С ОСОБЕНОСТИ В ПЛАН И ПРОФИЛ

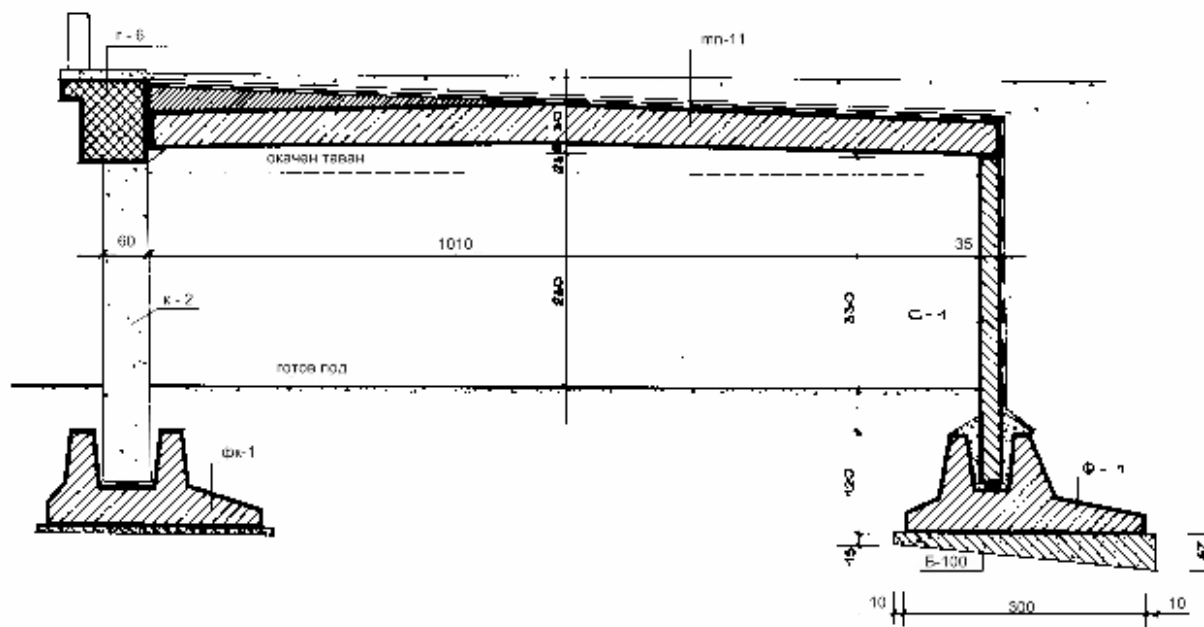
4.1. ОБЛАСТ НА ПРИЛОЖЕНИЕ

Някои подземни съоръжения се характеризират с особености в план и профил дължащи се на тяхното предназначение и съответното обемно планировъчно решение, напр.:

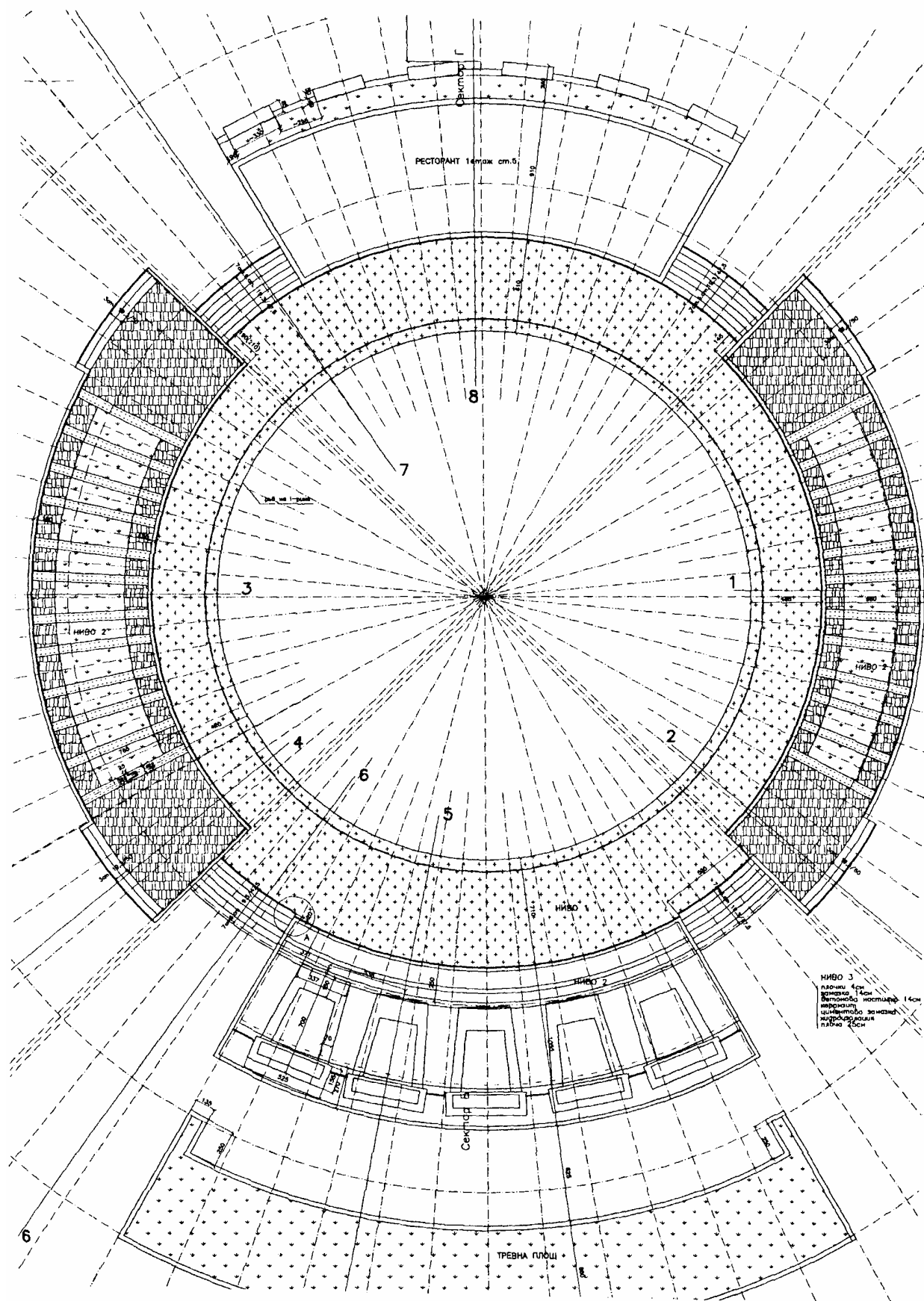
- метростанции, вж. фиг. 1.5 и 1.7;
- подземни съоръжения на големи площи, напр. някои пешеходни подземи, вж. фиг. 4.2 и фиг. 4.3;
- многоетажни тунели, вж. фиг. 0.1 и фиг. 4.1;
- многоетажни гаражи и подземни съоръжения с друго предназначение, фиг. 4.4 и фиг. 4.5.



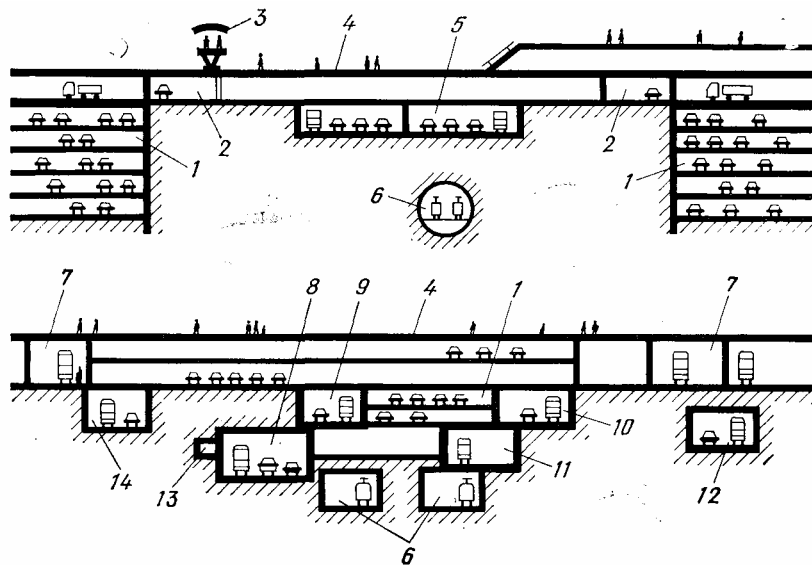
Фиг. 4.1. Многоетажни тунели



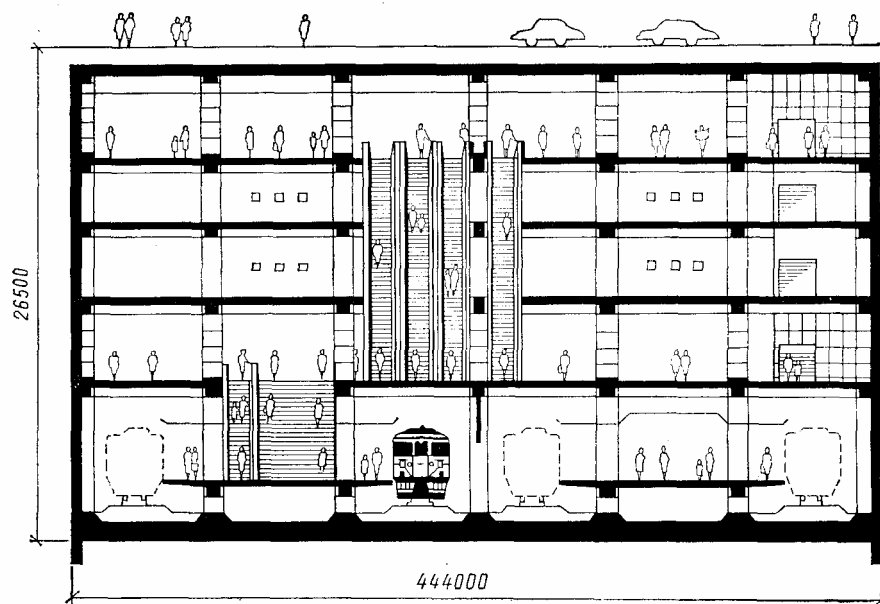
Фиг. 4.2 а. Пешеходен подлез пред ЦУМ, София – вертикален разрез



Фиг. 4.3 б. Пешеходен подлез при Централна гара, София – план



Фиг. 4.4. Подземен многоетажен комплекс на площада на Отбраната в Париж



Фиг. 4.5. Подземен 5-етажен комплекс в Токио

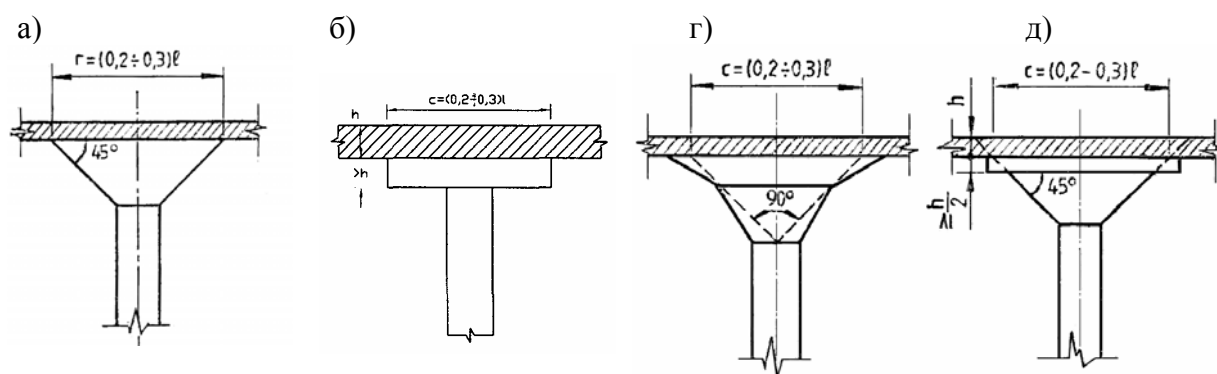
Не е възможно да бъде обхванато цялото разнообразие на обемно-планировъчните и конструктивните решения на този клас съоръжения. Ще бъдат разгледани само характерни изпълнения на отделни части, елементи и детайли.

4.2. МОНОЛИТНИ КОНСТРУКЦИИ

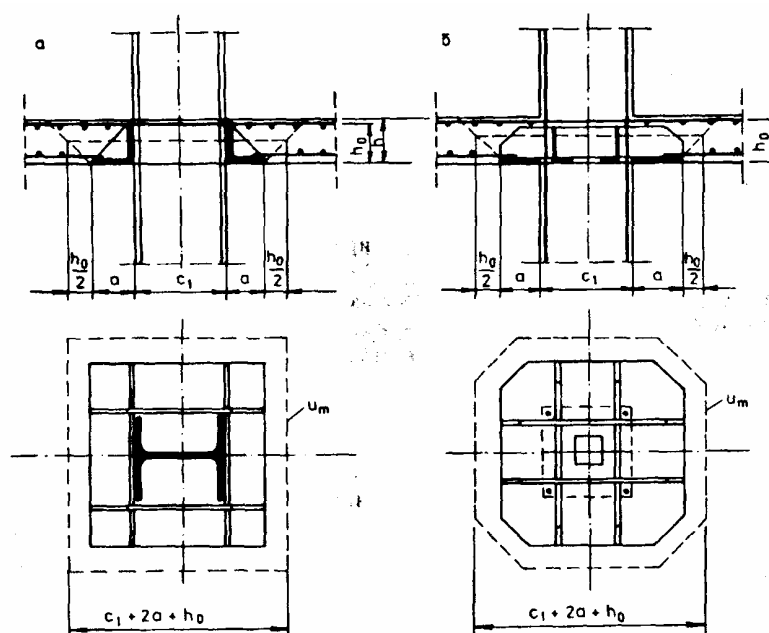
В подземните съоръжения намират приложение *безгредовите плочи* (т.е. плочи подпрени директно на колони). За тях кофражните работи се изпълняват лесно, ако се ползват инвентарни кофражи (обикновено едроразмерни). Липсата на греди осигурява еднакъв височинен габарит за целия етаж. Поради тези предимства безгредовите плочи са подходящи за подземни гаражи, вестибюли на метростанции, пешеходни подземи на големи площи.

В курса по стоманобетон [11] е разгледано изчислението на безгредови плочи чрез метода на заместващите ивици. Това решение е приложимо при равномерно разпределени натоварвания, каквито са например междинните плочи на подземните съоръжения. За покриващите плочи поемащи натоварванията от превозни средства във вид на концентрирани сили е подходящо да се ползват компютърни програми, основани на метода на крайните елементи.

Отговорен детайл за безгредовите плочи е връзката им с колоните, за която е меродавна проверката на продънване. С оглед удовлетворяването ѝ може да се наложи предвиждането на капители с цилиндрична или конична форма, фиг. 4.6. Ако капителите нарушават габарита, то плочата може да бъде с постоянна височина по цялата ѝ площ, като при връзката ѝ с колоната се осъществи чрез вграден стоманен капител (стоманена обувка), фиг. 4.7. При такъв детайл пирамидата на продънване се допира до външните краища на обувката и повърхнината срязване се получава по-голяма, отколкото при плоча без капител.

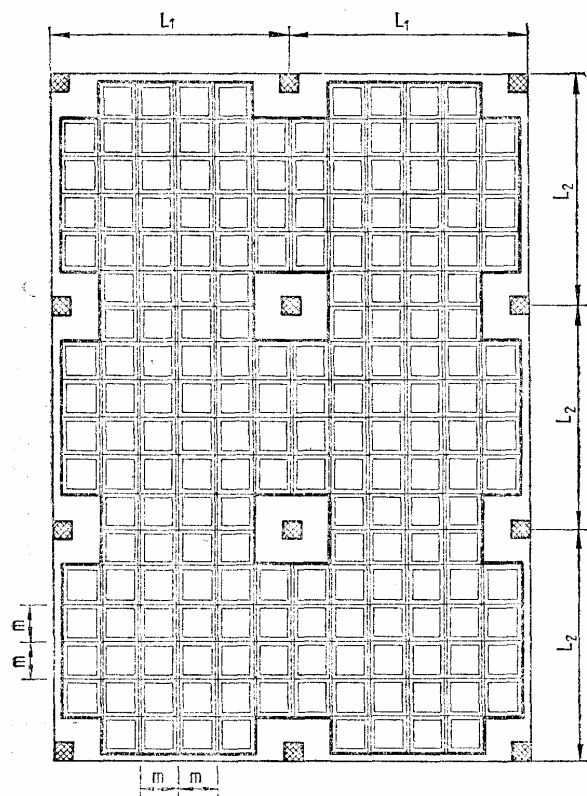


Фиг. 4.6. Капители на безгредови плочи а) коничен (пирамидален); б) цилиндричен (призматичен); в) г) със сложни форми.

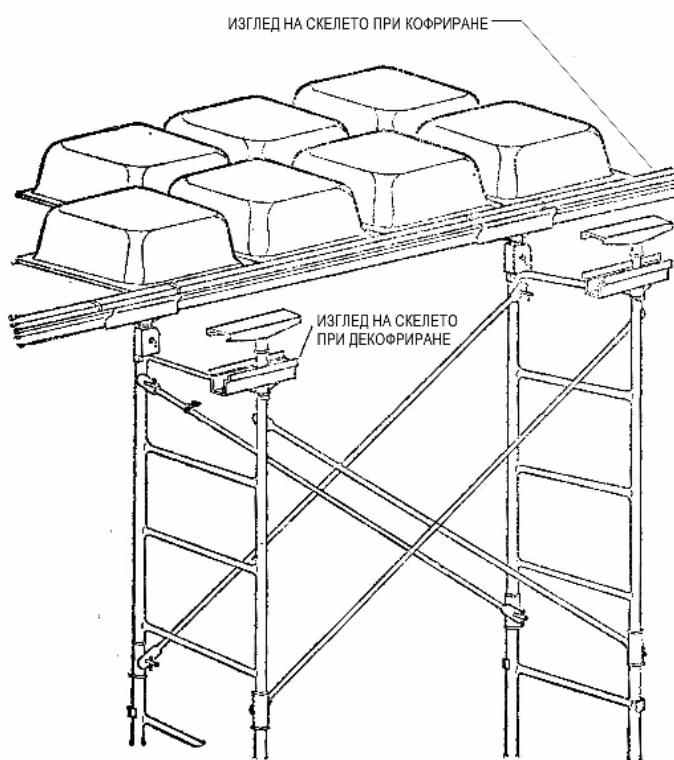


Фиг. 4.7. Вграден стоманен капител а) при стоманена колона; б) при стоманобетонна колона.

При голямо разстояние между колоните безгредовите конструкции се оказват неикономични и по рационално е да се премине към оребрени конструкции. На фиг. 4.8 е показана конструкцията от типа на *касетиран таван*. За кофрирането му се ползват инвентарни пластмасови кофражи – *легени*, фиг. 4.9. При връзката с колоните има плътни части, необходими за по-лесното осигуряване срещу продънване на плочите и за поемане на моментите при подпорите. Подобна конструкция е приложена в сградата на “Интерпред”, София и за многоетажните подземни конструкции към нея



Фиг. 4.8. Касетиран таван



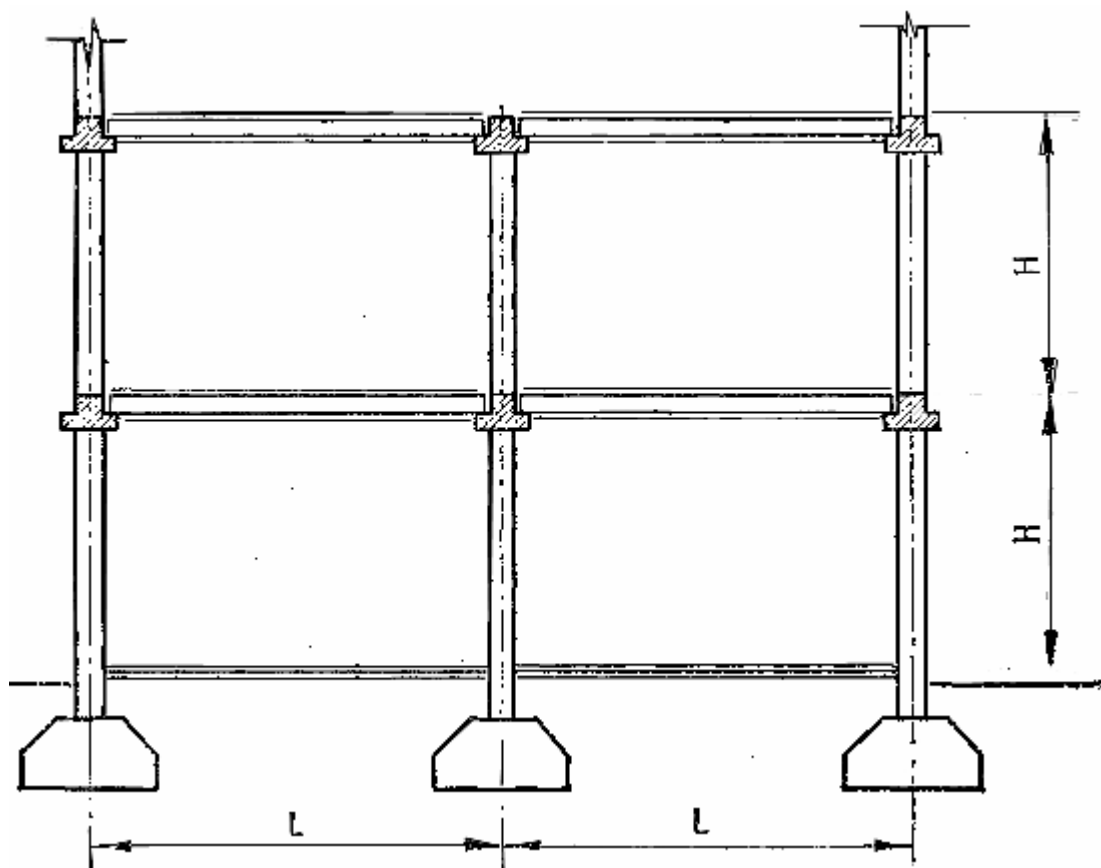
Фиг. 4.9. Скеле и пластмасови кофражи за касетиран таван)

4.3. Сглобяеми конструкции

4.3.1. Общи положения

Сглобяемите конструкции на многоетажните подземните съоръжения са аналогични на тези на някои промишлени и обществени сгради. Информация за тях се дава в курса по “Стоманобетонни конструкции” воден за студентите от Строителния факултет, вж. напр. Памукчиев, С. Стоманобетонни конструкции. За профила “Строителство на транспортни съоръжения” тези въпроси не са изучавани. От друга страна подземните транспортни съоръжения по отношение на натоварванията върху покриващите и стенните конструкции се отличават от сградите и поради това разглеждането на въпросите за сглобяемите конструкции на подземните съоръжения е необходимо.

Като пример на фиг. 4.10 е дадена схема на многоетажна сглобяема конструкция приложима и за подземни транспортни съоръжения.



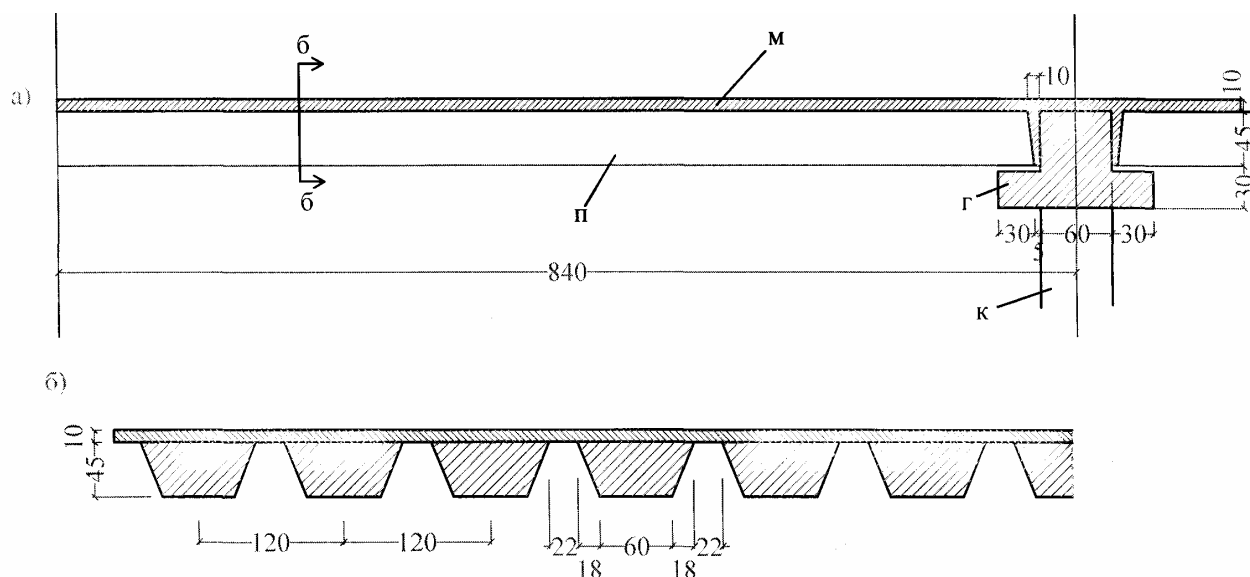
Фиг. 4.10. Схема на многоетажна сглобяема конструкция

4.3.2. Покриващи конструкции

Покриващите конструкции на подземните съоръжения на големи площи обикновено са многоотворни. Възможно е отделните отвори могат да бъдат покрити със сглобяеми конструкции система проста греда, прилагани при едноотворните съоръжения, напр. дадените на фиг. 3.19 и фиг. 3.21. Недостатък на това решение е наличието на много фуги. Въпреки грижите за оформянето им (вж. раздел 5) избягването на фугите или намаляване на броя им е благоприятно с оглед свеждане до минимум на местата с потенциални течове. В това отношение по-удачни са решенията с непрекъснати конструкции. Друго тяхно

предимство е, че разпределението на усилията е по-благоприятно отколкото при свободно лежащите греди.

Като пример на фиг. 4.11 е показана покриващата конструкция на подземен гараж в София под бул. Витоша до кръстовището с бул. България. Нейната статическа схема е непрекъсната греда. Тя поема подвижни натоварвания от автомобили и трамваи. Използвани са готови елементи с трапецовидно сечение. Над тях се излива замонолитваща плоча с дебелина 10 см. Чрез нея се осъществява връзката между елементите в напречно направление. Елементите лягат върху греди с формата на обротно Т. В плочата е разположена надлъжната армировка, поемаща опъна от отрицателния момент при подпорите, както и армировката необходима за напречното огъване.



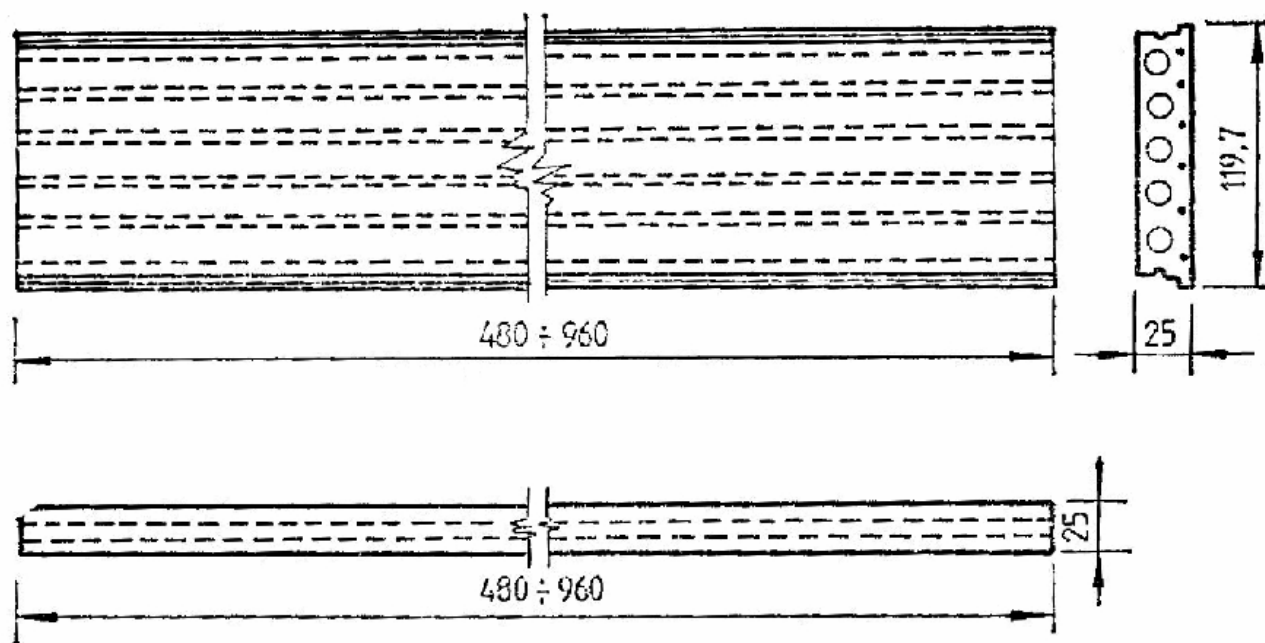
Фиг. 4.11. Покриваща конструкция на подземен гараж в София

- а) Надлъжен разрез – монолитен елемент на плочата (м);
готови елементи: колони (к); греди с формата на обрнато Т (z);
панели с трапецовидно сечение (n).**
- б) Напречен разрез б-б.**

С показаните изпълнения на фиг. 3.19, 3.21 и 4.11 не се изчерпват всички възможности. Идеи за други решения могат да се търсят, като се има предвид аналогията с връхните конструкции на стоманобетонните мостове, вж. [4].

4.3.3. Междуетажни конструкции

На показаната на фиг. 4.10 схема се виждат основните елементи на междуетажната конструкция: греди с формата на обрнато Т и подови панели. Панелите могат да имат различно напречно сечение: плътно, оребрено, с кухини. За многоетажните подземни съоръжения целесъобразно се оказва прилагането на панели с цилиндрични кухини тип “Спирол”, фиг. 4.12. Такива са произвеждани в Кремиковци и Плевен и са прилагани за междуетажните конструкции на гараж в София под бул. Витоша до бул. България, а също и като оставащи кофражи в някои станции на софийското метро.



Фиг. 4.12. Панели "Спирол"



Фиг. 4.13. Рязане с карборундов диск при производството на панели "Спирол"

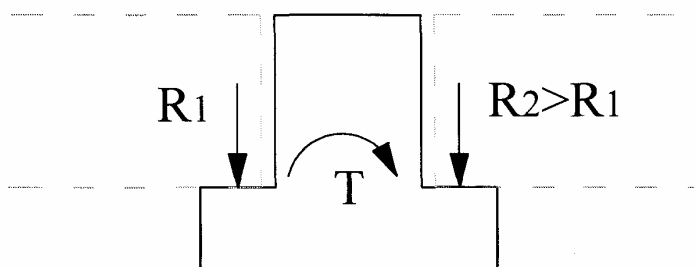
Панелите “Спирол” (фиг. 4.12) имат цилиндрични кухини, които се формуват при изливането на бетона със специална машина. Надлъжната им армировка (въжета от 7 усукани тела с условен диаметър $\phi 12$) е предварително напрегната на стенд (преди бетонирането). Напречна армировка в елемента няма, тъй като тя би пречила на производството му.

Изливането на панелите се извършва непрекъснато за цялата дължина на стенда. След това се реже със карборундов диск и така се получават елементи с различни дължини, виж фиг. 4.13. Панелите са изчислени като греди на две опори и могат да покриват подпорни разстояния до 960 cm и да носят полезен товар от 3 до 10 kN/m^2 . (Товарът от пешеходци се приема 5 kN/m^2 , а от паркирали автомобили 4 kN/m^2). За всеки конкретен обект трябва да се проведат изчисления за приетото подпорно разстояние с полезния товар, в който трябва да се включат теглата на настилка, мазилката на тавана и постоянните товари освен собственото тегло на панела. Въз основа на проведените изчисления се избира типа на панела характеризиращ се с броя на въжетата на напрегащата армировка.

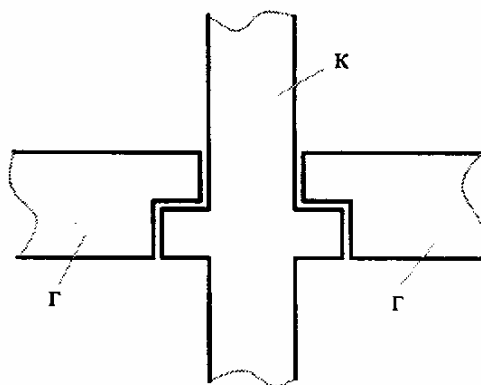
4.3.4. Греди с форма на обърнато Т

Гредите с формата на обърнато Т имат предимството, че в голямата част от височината си те се вметват между панелите, фиг. 4.10 и фиг. 4.11. За осигуряване на габарита меродавна се оказва светлата височина, мерена от долния ръб на гредата до нивото на пода. Във връзка с това конзолите на гредите е добре да бъдат с малка височина. Тя обаче трябва да бъде достатъчна за поемане на усилията. Стърчащите части в долния край на гредите се изчисляват като къси конзоли.

Друга особеност на гредите с формата на обърнато Т е, че те са подложени на усукване. В гредите се появява усукващ момент, когато подвижния товар е приложен едностранно, т.е. върху само върху панелите от единия ред. Усукващият момент е равен на произведението от реакцията от единия ред панели умножен по ексцентрицитета, мерен от приложената точка на реакцията до оста на гредата.



Фиг. 4.14. Греди с форма на обърнато Т.

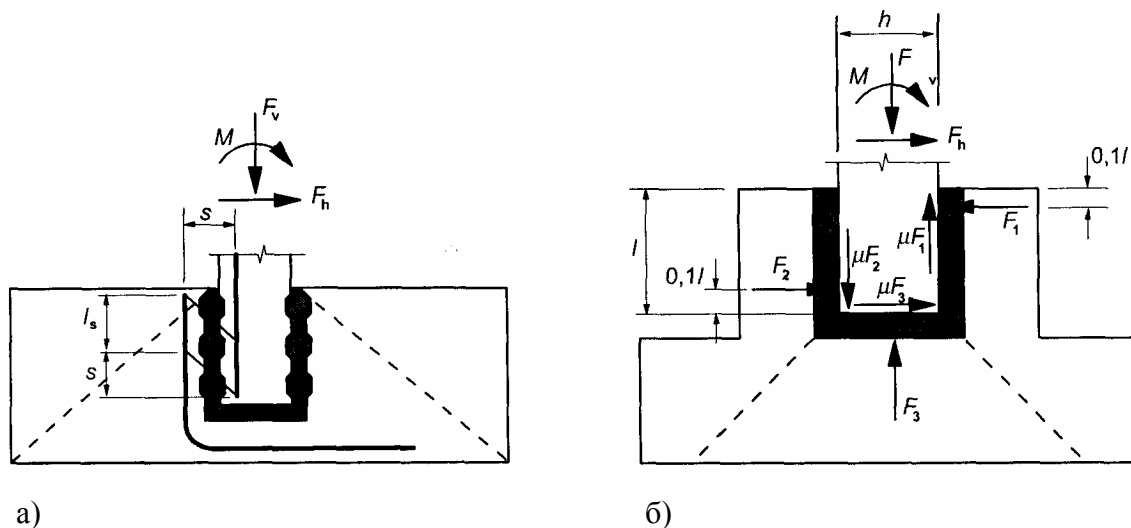


Фиг. 4.15. Греди (г) с “герберови зъби” и подпирането на колона (к)

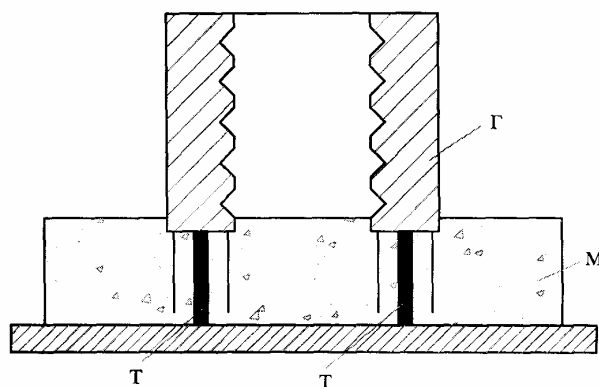
При връзката им колоните гредите стъпват на къси конзоли. За да не се увеличава габарита поради наличие на къса конзола се преминава към решението показано на фиг. 4.15. При него гредата е с намалена височина при опората ѝ. Изчислението и конструирането на крайната част на гредата, както и на късата конзола се извършва, както за *герберовите зъби* (това са части от герберови върхни конструкции на мостове разгледани в курса по “Стоманобетонни мостове, вж. Част 5.2.3 фиг. 5.35 от [4]).

4.3.5. Колони и фундаменти

При сглобяемите конструкции, колоните стъпват в чашковидни фундаменти. Тяхната работа е подобна на фундаменти с улеи, вж. фиг. 3.14 и фиг. 3.15 . Затова и в случая се ползват подобни изчислителни модели. На фиг. 4.16 са дадени моделите заимствани от Еврокод 2, като този от фиг. 4.16 б (съотв. на фиг. 3.15 б) се отнася за чашка и фундаменти с гладки стени. По-добра работа на връзката колона фундамент има в случая, при който чашката и колоната в областта на закотвянето ѝ са с назъбени повърхности, фиг. 4.16 а. Подобни фундаменти у нас са ползвани за някои сгради (халета), а не за подземни съоръжения. Друго особеното при тези изпълнения е сглобяемо-монолитното изпълнение на фундамента, фиг. 4.17. Чашката представлява готов елемент, който се произвежда обърнат. Полага се върху подложния бетон и след това монолитно се излива дънната плоча на фундамента. Това решение има следните предимства, в сравнение с изцяло сглобяемо изпълнение на целия фундамент. Елементът чашка е със сравнително малко тегло. Изливането на дънната плоча е лесно – ползва се кофраж само за страниците ѝ, чиято височина обикновено не надвишава 50 см.



Фиг. 4.16. Изчислителни модели на чашковидни фундаменти)
 а) с гладки повърхности на чашката; б) с нарязани повърхности на чашката



Фиг. 4.17. Сглобяемо-монолитен чашковиден фундамент
 г- готов елемент (чашка); т – тръби забетонирани в чашката, служещи за подпирането ѝ; м – монолитен бетон


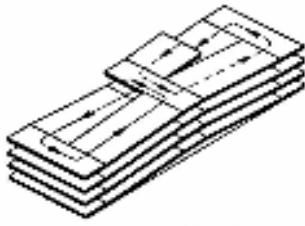
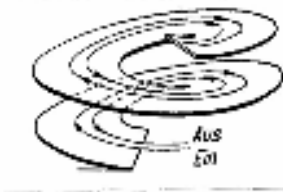


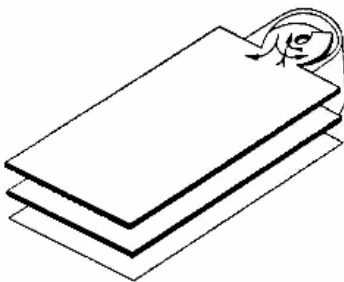

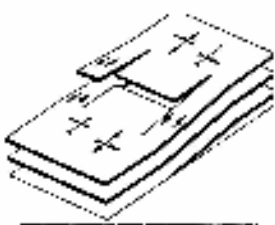


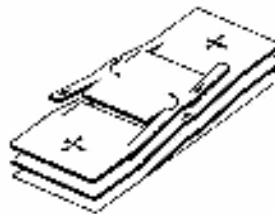
4.4 Рампи на многоетажни гаражи

За влизане и излизане на колите в различните етажи на многоетажни гаражи се предвиждат асансьори или рампи.

В таблица 4.1 са дадени видовете рампи на многоетажни гаражи, като в графа 1 са показани принципните схеми. Първите две фигури се отнасят за прави рампи, а другите – за спираловидни. В графа 2 са показани възможностите за разполагане и организация на движението по спираловидни рампи, а в графа 3 – на прави рампи.

В София под бул. Витоша зад устоя на надлеза на пътния възел на булевардите България и Витоша е построен подземен триетажен гараж, чиито рампи са спираловидни от вида показани най-горе в графа 2 на табл. 4.1. По същия начин са решени входовете на подземния гараж пред Централна гара София.

Таблица 4.1 Рампи на многоетажни гаражи

Видове рампи	Разполагане на спираловидни рампи	Разполагане на прави рампи
1	2	3
   	  	   

5. ОТВОДНЯВАНЕ И ХИДРОИЗОЛАЦИЯ НА ПОДЗЕМНИ СЪОРЪЖЕНИЯ

5.1. ОБЩИ ПОЛОЖЕНИЯ

Подземните съоръжения се намират в почвена среда, която често е с естествена влажност, а в някои случаи нивото на почвените води е високо. Бетонът и стоманобетонът са чувствителни към наличието на води и особено на меки (не варовити), както и такива, чиито химически състав благоприятства за протичането на корозията. Наличието на вода или влага в подземните съоръжения създава неблагоприятни условия за експлоатацията, напр.

- Влажният въздух дава по-добра електропроводимост. С това трябва да се съобразяват съоръженията за метрото.
- Влажната среда ускорява корозията на автомобилите в подземните гаражи, дава вредно отражение на постоянно работещите в някои подземните съоръжения, напр. продавачи в магазини.

Тези обстоятелства налагат да се вземат подходящи мерки за отвеждане на водите и за защита на бетонните и стоманобетонните конструкции чрез хидроизолации.

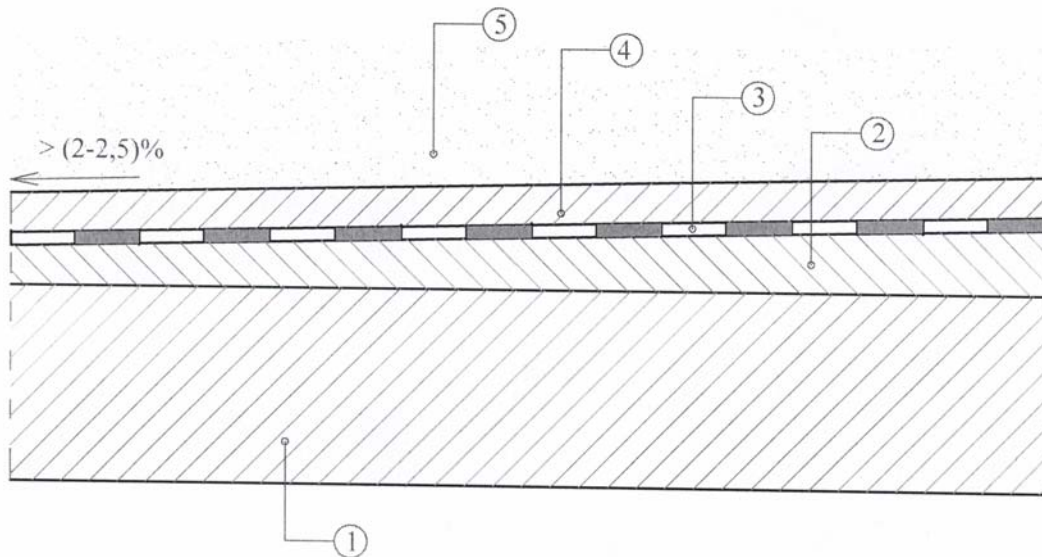
Въпросите по хидроизолациите се изучават в предмети преподавани от катедра “Строителни материали и изолации”. Освен това хидроизолациите на подземните съоръжения в някои случаи са аналогични на тези на стоманобетонните мостове, изучавани в съответната дисциплина. Все пак необходимо е да бъдат изяснени отделни въпроси, с оглед да се отрази спецификата на подземните съоръжения и от друга страна да се направи връзка с споменатите учебни дисциплини.

Необходимостта от хидроизолация по всички повърхности в някои случаи съществено влияе на избора на конструктивната система и последователността на изграждането на подземното съоръжение. Така например за конструкцията от фиг. 2.10, изпълнявана по траншееен метод, заради наличието на вертикална хидроизолация се налага изпълняването на двойна стена.

5.2. ОТВОДНЯВАНЕ И ХИДРОИЗОЛАЦИЯ НА ХОРИЗОНТАЛНИ И ЛЕКО НАКЛОНЕНИ ПОВЪРХНОСТИ

Най-благоприятно за отводняването е, ако елементите на покриващите конструкции са с леко наклонени горни повърхности, вж. фиг. 3.11, 3.12, 3.20, 3.22. Ако покриващите конструкции са с хоризонтална горна повърхност, то трябва да се осигурят наклони за отводняване мин. 2-2,5%. За тунелите изпълнявани по открит способ обикновено се осигурява двустранен наклон на горната им повърхност, вж. фиг. 5.1. За подземните съоръжения на големи площи, разгледани в гл. 4, трябва да се осигурят наклони по двете направления за отводняване. Освен отвеждането на водата покрай стените, в някои случаи може да се наложи предвиждането на

отводнителни тръби във вътрешността на площите – напр. при много големи размери в план на съоръженията. Примери за такива решения не са дадени, понеже те са строго индивидуални.

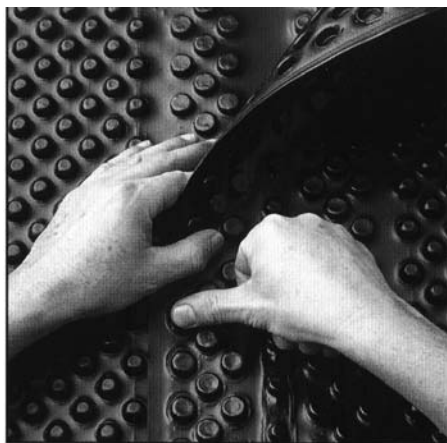


Фиг. 5.1. Детайл на хидроизолация: (1) стоманобетонна конструкция; (2) изравнителен пласт; (3) хидроизолация; (4) предпазен пласт; (5) насип.

Според показания на фиг. 5.1 детайл е предвидено следното. Най-долният пласт се изпълнява от циментна замазка, която служи да изравни грапавините на конструктивните части и да създаде необходимите наклони. При по-голяма дебелина този пласт може да се изпълни в два етапа. Долният слой да бъде от бетон, а отгоре да се предвиди замазка. Изравнителният пласт може да бъде с постоянна дебелина (напр. замазка 2-3 см), ако горната повърхност на конструкцията оформя наклона. Изравнителният пласт може изцяло да отпадне за монолитни конструкции, при които оформянето на горната повърхност се извършва със специални машини. Такъв тип се предпочита сега за пътните мостове, вж. [4].

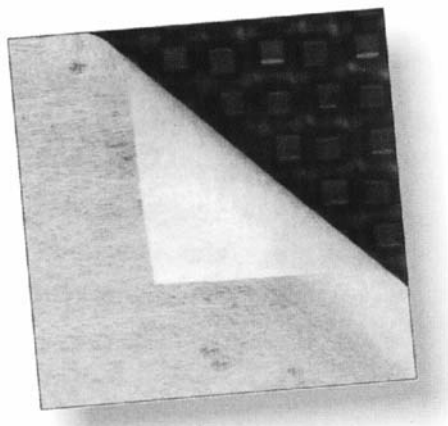
Хидроизолационният пласт се изпълнява обикновено от листови (мембранни, рулонни) материали и по-рядко от мазани (течни). Тези въпроси се разглеждат по-подробно в курса по “Стоманобетонни мостове” и затова тук не се повтаря изложението. Предпазният пласт служи да не допусне механично увреждане на хидроизолацията по време на засипване на съоръжението. В голяма част от построените в миналото подземни съоръжения този пласт се изпълняваше като циментна замазка с дебелина 4 см. Тя се армираше с мрежа, за да се избегне напукването ѝ. Има се предвид, че замазката се полага върху хидроизолацията, която е хидрофобен материал, който не може да има сцепление с циментния разтвор.

Понастоящем много фирми, специализирани в производството и изпълнението на хидроизолации, предлагат и предпазни пластове от фабрични материали. На фиг. 5.2 е показано решение, при което се ползва награвен лист от изкуствена материя, чиито издатини могат да се “закопчечат”. Този пласт има също и хидроизолиращи функции. Но за подземните съоръжения се препоръчва този материал да дублира друга листовка хидроизолация, да се изпълни като неин горен пласт



Фиг. 5.2. “Закопчаване” на награвени листове

Друга възможност е показана на фиг. 5.4. Използва се материал от два слоя – релефен лист и геотекстил, който при монтирането остава отгоре и има дренираща функция. С дадените два примера не се изчерпват всички възможности. Понастоящем се предлагат и други материали за оформяне на горния слой на хидроизолациите и за защитата им.



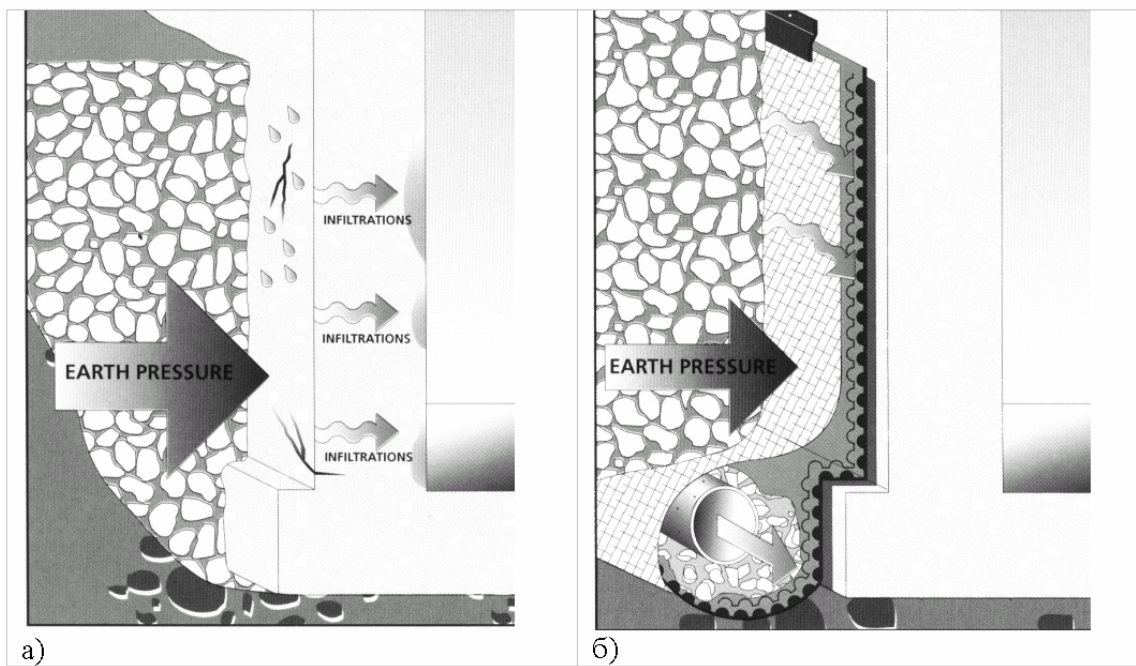
Фиг. 5.3. Двуслоен материал състоящ се от релефен лист и геотекстил /



Фиг. 5.4. Полагане на двуслоен материал върху повърхността на тунел изпълняван по открит способ.

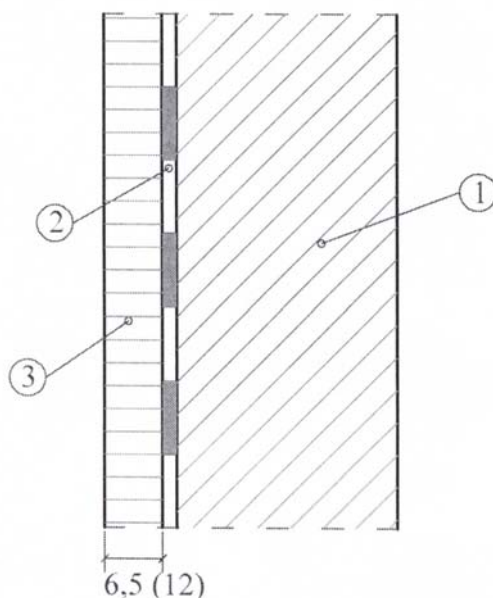
5.3. ОТВОДНЯВАНЕ И ХИДРОИЗОЛАЦИЯ НА ВЕРТИКАЛНИ И СИЛНО НАКЛОНЕНИ ПОВЪРХНОСТИ

В подземните съоръжения вертикалните повърхности, както и тези с голям наклон създават много добри условия за отводняването. Но и в този случай не бива да се “спестява” изолацията, и особено при високо ниво на почвените води, вж. фиг. 5.5. На фиг. 5.5 б) и 5.6 е показан дренаж в долния край на стената, който осигурява отвеждането на водите.



Фиг. 5.5. Вертикална стена а) без хидроизолация ; б) с хидроизолация .

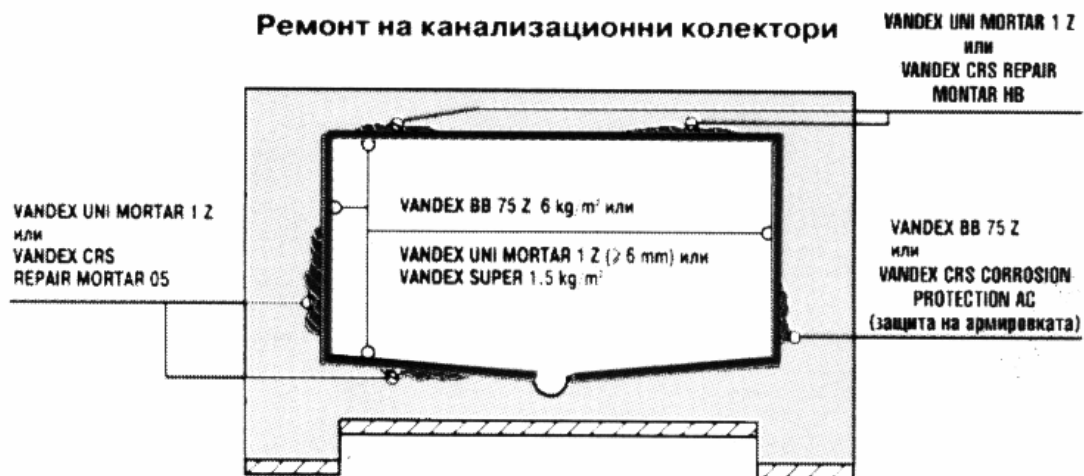
Защитата на вертикалните хидроизолации от механично увреждане по време на изпълнението на насипите може да се извърши с материалите показани на фиг. 5.3 и 5.4. В много от подземните съоръжения построени в миналото хидроизолациите по външните повърхности са покрити със защитна зидария, фиг. 5.6. При нея тухлите лягат по най-малкия си размер (на “калъч”), който е 6.5 см, за единичните тухли и съотв. 12 см. – за тухлите-“четворки”, фиг. 6.6. Стени с дебелини 6,5 см не се изпълняват в сградите с оглед устойчивостта на зида. Но в подземните съоръжения зидария с такава дебелина има само защитна функция. След засипването тя е притисната към стената и така тя е укрепена.



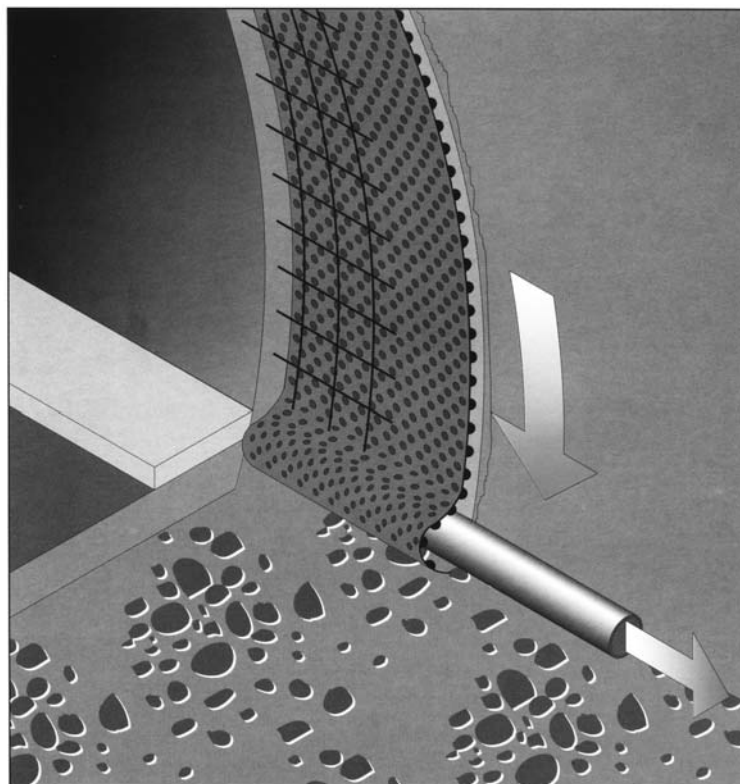
Фиг. 5.6. Зидария, като защита на хидроизолация по вертикална стена:
(1) стоманобетонна конструкция; (2) хидроизолация; (3) тухлена зидария.

5.4. ХИДРОИЗОЛАЦИИ НА ДЪННИ ПЛОЧИ НА ПОДЗЕМНИ СЪОРЪЖЕНИЯ

При високо ниво на почвените води изолирането само на покриващите конструкции и стените се оказва недостатъчно. Лисата на изолацията отдолу ще доведе до следното - поради водния напор водата ще почне да “извират” в дъното на подземното съоръжение. На фиг. 5.7 е показан детайл на изолацията на дъното. Това изпълнение изисква непременно да има дънна плоча, необходима за изолирането на съоръжението, дори в случаите за които тя не е необходима за конструктивното решение. Т.е. при наличието на високи почвени води не се прилагат конструктивните решения, като напр. показаните на фиг. 3.13, 3.14, 3.17.



Фиг.5.8. Хидроизолация чрез обработване на бетона отвътре



Фиг. 5.9. Хидроизолация от вътрешната страна на конструкцията

Друга възможност за изолиране отвътре е показана на фиг. 5.9. От вътрешната страна на конструкцията на подземното съоръжение се поставя

хидроизолационен пласт. По нататък следва дрениращ пласт, като отвежданата вода се събира в дренажи. Тези пластове могат да се покрият със защитна облицовка. Друго решение (показано на фигурата) е с армировъчна мрежа, върху която се изпълнява пръскан бетон или разтвор (торкрет).

При вътрешно разположена хидроизолация трябва да има предвид, че бетонната или стоманобетонната конструкция е изложена на влиянието на почвените води. Меките (не варовитите) води, а също и такива в които са разтворени вещества агресивни към бетона могат да увредят конструкцията. В такива случаи към състава и качествата на бетона трябва да се предявят специални изисквания подобно на тези към елементи и конструкции във водна среда, като стълбове на мостове, пристанищни съоръжения и т. н.

Изолирането от вътрешната страна се прилага и за саниране на съществуващи подземни съоръжения. За разлика от мостовете и сградите, при които повърхностите са достъпни и лесно може да се подмени хидроизолацията, то при засипаните подземни съоръжения се оказва съвсем неприемливо разкриването, защото се създават неудобства при използването на площите над съоръженията (градски зони, пътища, ж.п. коловози и т. н). По рационалното е да се търсят решения с извършване на ремонтните работи отвътре на подземното съоръжение.

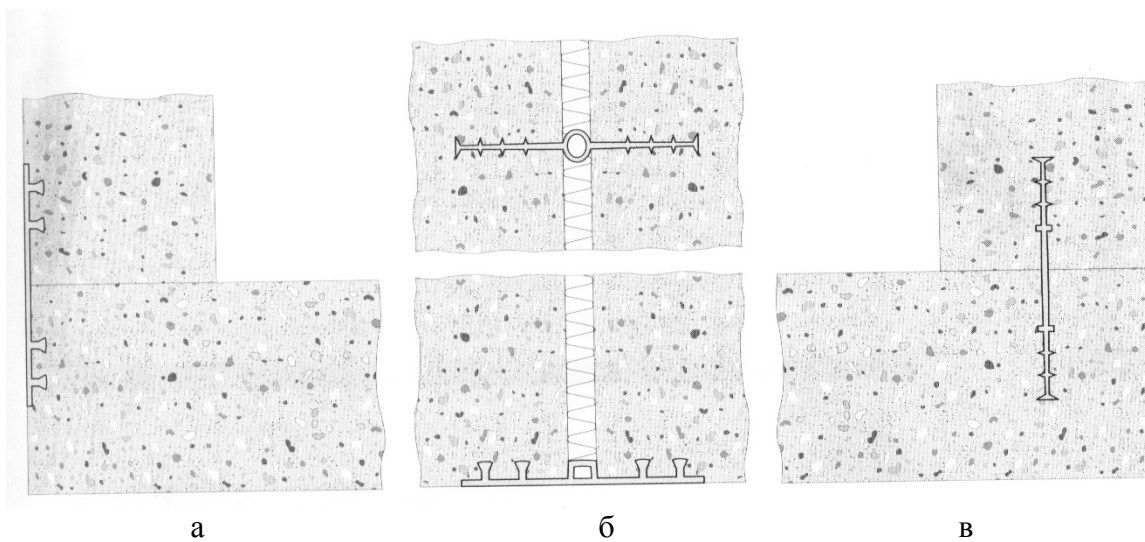
5.6. ФУГИ В ПОДЗЕМНИ СЪОРЪЖЕНИЯ

В подземните съоръжения има два вида фуги:

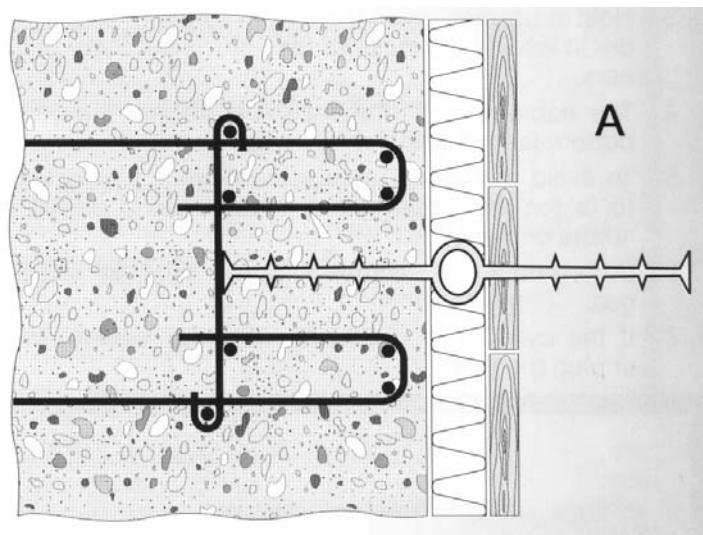
а) *Дилатационните фуги* [фиг. 5.10 б) и в), фиг. 5.11] допускат премествания (вертикални, хоризонтални, и/или завъртания. Така те разделят подземните съоръжения на отделни части (секции), които действат като самостоятелни конструкции. Това трябва да бъде отчетено при изчислението и конструирането. При тунели изпълнявани по открит способ обикновено се предвиждат дилатационни фуги разположени напречно на оста на съоръжението. Така то се състои от отделни секции не свързани помежду си. Необходимостта от дилатационни фуги е свързано с отчитането на геотехническите особености, напр. силно променящи се почвени условия водещи до неравномерни слягания или големи различия в дебелините на насипа. Отчитането на влиянието на съсъхването на бетона, неравномерните температури, земетръсните и други въздействия също обуславя разделяне на подземното съоръжение на самостоятелни секции.

б) *Работните фуги* [фиг. 5.10 а) и 5.10 г)] съвпадат с местата на прекъсване на бетонирането, напр. на връзката между дънна плоча и стена. В работните фуги, за разлика от дилатационните няма взаимни премествания и хидроизолацията минава непрекъснато. При добро изпълнение на изолацията не би следвало да се очаква проникване на вода. Все пак бетонът изливан без прекъсване има плътна структура, докато работната фуга е място на потенциални течове при повредена хидроизолация. Трябва да се има предвид и трудното ремонтиране на хидроизолациите. Поради тези причини допълнителното осигуряване на работните фуги с профили не изисква големи средства, но повишава надеждността на съоръженията и особено на тези, при които почвените води са с високо ниво.

От дадените дефиниции е ясно, че приемането на местата на фугите и изборът на техния вид е свързан с конструктивната схема и начина на изграждането. Трябва да се имат предвид още и следните крайности: Малкият брой на фугите или тяхната липса може да доведе до неблагоприятни последици за усилията в конструкциите или да създаде трудности при изграждането или експлоатацията. Недобре проектираните или изпълнени фуги създават условия за проникване на вода. Поради това трябва да се избягва ненужния брой фуги. От друга страна предвидените фуги трябва да бъдат с подходящи изпълнения.



Фиг. 5.10. а) Външна работна фуга; б), в) вътрешна и съотв. външна дилатационна фуга; г) вътрешна работна фуга.



Фиг.5.11. Детайл на вътрешна дилатационна фуга в стоманобетонна конструкция

На фиг. 5.10 а) и г) са показани изпълнения на работни фуги, а на фиг. 5.10 б) и в) – на дилатационни фуги. Профилите за фугите са от изкуствен каучук, вж. фиг. 5.12. Тези профили могат да бъдат разположени в средата на дебелината на елемента, вж. фиг. 5.10 б) и г). Такъв детайл се прилага обикновено за бетонни конструкции. За стоманобетонни конструкции, с оглед да не се усложнява армировката, профилът може да се разположи в бетонното покритие, вж. работната фуга от фиг. 5.10 а) и дилатационната фуга от фиг. 5.10 в). Възможно е вътрешно разполагане на дилатационната фуга (фиг. 5.11), което предполага подходящо оформяне на армировката.

INTERNAL EXPANSION JOINT

A

ART.	L	H	S	D	ROLLS
600	150	11	2,5	26	ML. 25
602	200	11	2,5	25	ML. 25
604	220	11	2,5	28	ML. 25
606	250	11	3,0	32	ML. 25
608	300	12	3,0	32	ML. 25
610	360	12	3,0	40	ML. 15
612	440	15	4,0	50	ML. 15

INTERNAL TAKE UP JOINT

B

ART.	L	H	S	ROLLS
650	150	11	2,4	ML. 50
652	200	11	2,4	ML. 50
654	220	11	2,5	ML. 50
656	250	12	2,5	ML. 25
658	300	13	2,5	ML. 25

EXTERNAL EXPANSION JOINT

B

ART.	L	H	S	ROLLS
630	230	21	4	ML. 25
632	280	23	4	ML. 25
634	320	24	4	ML. 25
636	360	28	4	ML. 25

EXTERNAL TAKE UP JOINT

Г

ART.	L	H	S	ROLLS
640	150	20	3	ML. 50
642	180	20	4	ML. 25
644	240	20	4	ML. 25

Фиг. 5.12. Профили за: А) вътрешна дилатационна фуга; Б) вътрешна работна фуга; В) външна дилатационна фуга; Г) външна работна фуга.

6. ПРИМЕРИ ЗА ИЗПЪЛНЕНИ ПОДЗЕМНИ СЪОРЪЖЕНИЯ У НАС

В настоящия раздел са дадени примери от изпълнени у нас по открит способ подземни съоръжения. Дадените снимки илюстрират конструкциите (вкл. някои техни детайли), както и някои особености на изграждането им

6.1. Списък на някои характерни подземни транспортни съоръжения у нас построени по открит способ

- * Пешеходни подлези под коловозите на гара Горна Оряховица, 1935 г.
- * Пешеходен подлез на централния площад във Варна 1967 г.
- * Пешеходен подлез пред ЦУМ, София, 1969 г.
- * Противосрутищен тунел по пътя Девин-Доспат, 1972 г.
- * Пешеходни подлези под бул. Цариградско шосе, 1973 г.
- * Съоръжения при Централна гара София 1974 г. подлез “Ротонда” пешеходни подлези, магазини, триетажен подземен гараж.
- * Съоръжения при НДК, София, завършени през 1981 г. :
 - Участък от метрото от пресечката бул. Витоша – чул Патриарх Евтимий до музея “Земята и хората” (ще се ползва за в бъдеще, когато се свърже с участъците от метрото в експлоатация)
 - Подлез за автомобилно движение по връзката на булевардите “Скобелев”, “Левски” и трамвайна линия Лозенец-пл. Възраждане.
 - Триетажен подземен гараж при кръстовището бул. Витоша/България.
 - Подземни гаражи при бул. Фритьоф Нансен
- * Пешеходни подлези по бул. България.
- * Тунел по пътя Гоце Делчев-Драма под българо-гръцката граница (в строеж) .
- * Софийски метрополитен (по-подробна информацията е дадена в раздели 1 и 7.

6.2. Пешеходен подлез пред ЦУМ – София

Външните размери на подлеза в план са 49,6/54,3м, вж. фиг. 4.2 а), 4.2 б). Във вътрешността му има открита част с размери 32/27 м. Там се намира черквата Св. Петка Самарджийска, построена през Средновековието. Счита се, че до черквата тайно е погребан Левски. Нивото на черквата съответства на това на уличната мрежа на града в миналото. То е по-ниско от това на съвременния площад, но по-високо от пода на подлеза.

Подлезът представлява първото подземно транспортно съоръжение у нас изградено изцяло като сглобяемо. Приложени са следните видове готови елементи:

- фундаменти за стени, вж. фиг. 3.16 и 3.17;
- стени със широчина 3 м;
- фундаменти за колони, вж. фиг. 4.15 б,
- колони;
- греди – преобладаващият брой са готови стоманобетонни; гредите при изходите към ЦУМ и хотел “Шератон”, както и една греда към метростанцията са монолитни предварително напрегнати;
- панели със широчина 1 м и с дължини от 7,80 м до 10,14 м с плътно сечение и предварително напрегнати на стенд, вж. 3.20.

Съобразено с конфигурацията на съоръжението, от видовете елементи има по няколко варианта, различаващи се по размерите си.

Съоръжението е завършено през 1970 г. Впоследствие е извършено частично преустройство при западния му вход, с цел да се свърже със метростанция “Сердика”. При продължение на метрото по посока на “Младост” тунелите ще минат под подлеза, за което се предвижда специално укрепване.



Фиг. 6.1 Общ вид в първите години на експлоатацията му



Фиг. 6.2 Сглобяеми чашковиден фундамент и сглобяеми стени



Фиг. 6.3 Монтаж на елементи



Фиг. 6.4 Монтаж на предварително напрегнати панели (размерите и армировката са дадени на фиг. 3.20)

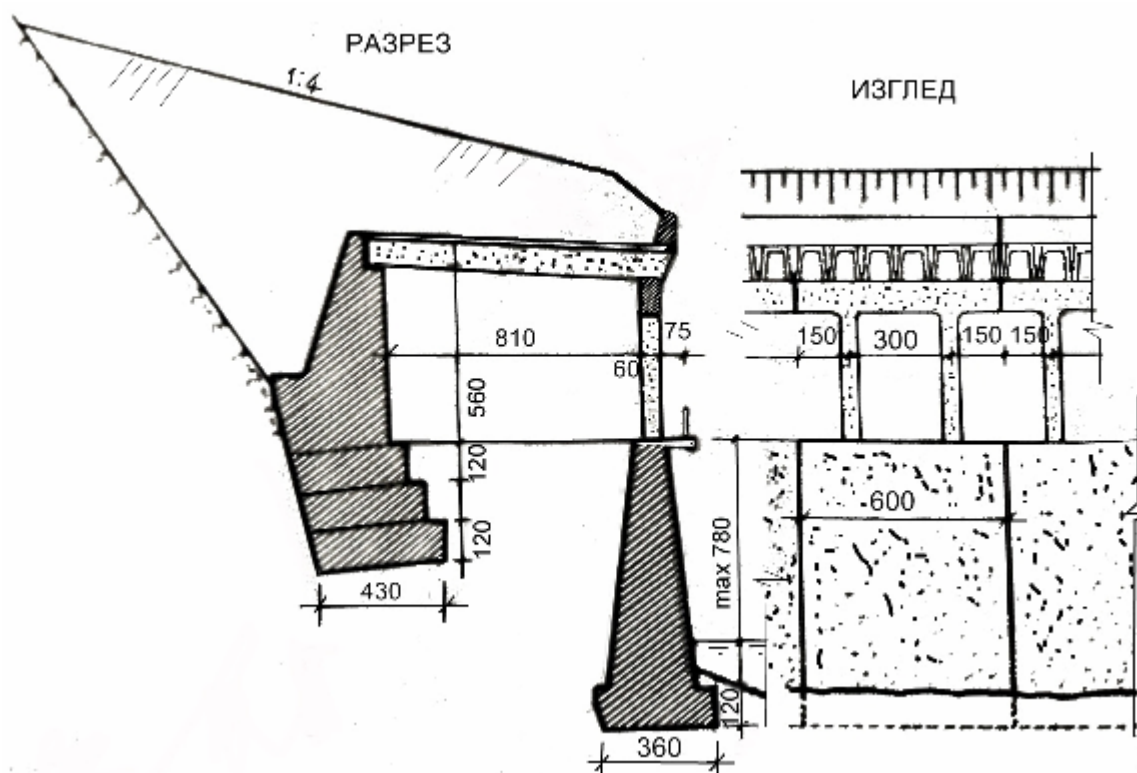
6.3. ПРОТИВОСРУТИЩЕН ПОЛУТУНЕЛ В РОДОПИТЕ

Преди построяването на съоръжението движението по пътя Девин-Доспат бе сериозно затруднявано, а понякога и прекъсвано поради падане на камъни в участък между селата Настан и Грохотно.

Съоръжението се състои от следните части:

- Масивна бетонна стена от страна на ската.
- Масивна бетонова стена от страна на р. Въча, с разположени върху нея стоманобетонни рамки.
- Стоманобетонни готови панели с П- сечение. След монтажа им върху тях е изпълнен насип за амортизиране на удара от камъните. Панелите са произведени на площадка в района на обекта и монтирани с автокран. Връзката между тях е осъществена с бетон.

Няколко съоръжения за предпазване от падащи камъни има по нашите железопътни линии. Тяхната конструкция е сводова монолитна (подобна на тунелите). Описания полутунел по вид и предназначение (за автомобилен път) е единствено в България.



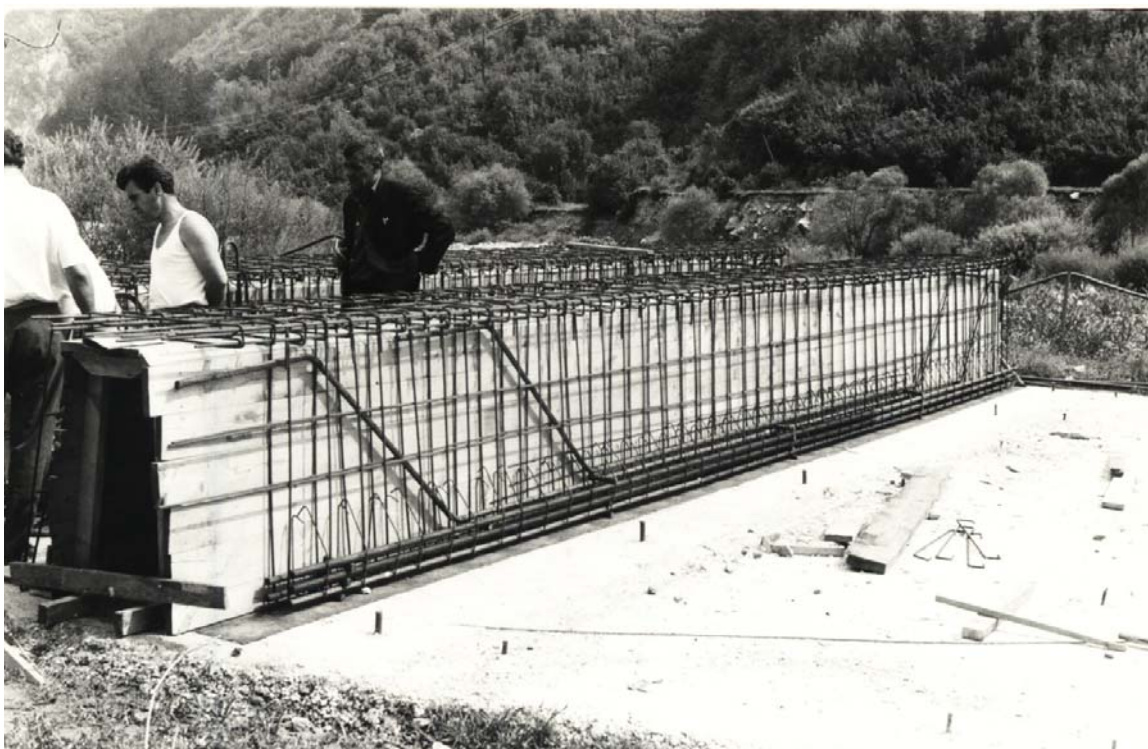
Фиг. 6.5 Основен чертеж на конструкцията



Фиг. 6.6 Изпълнение на рамките



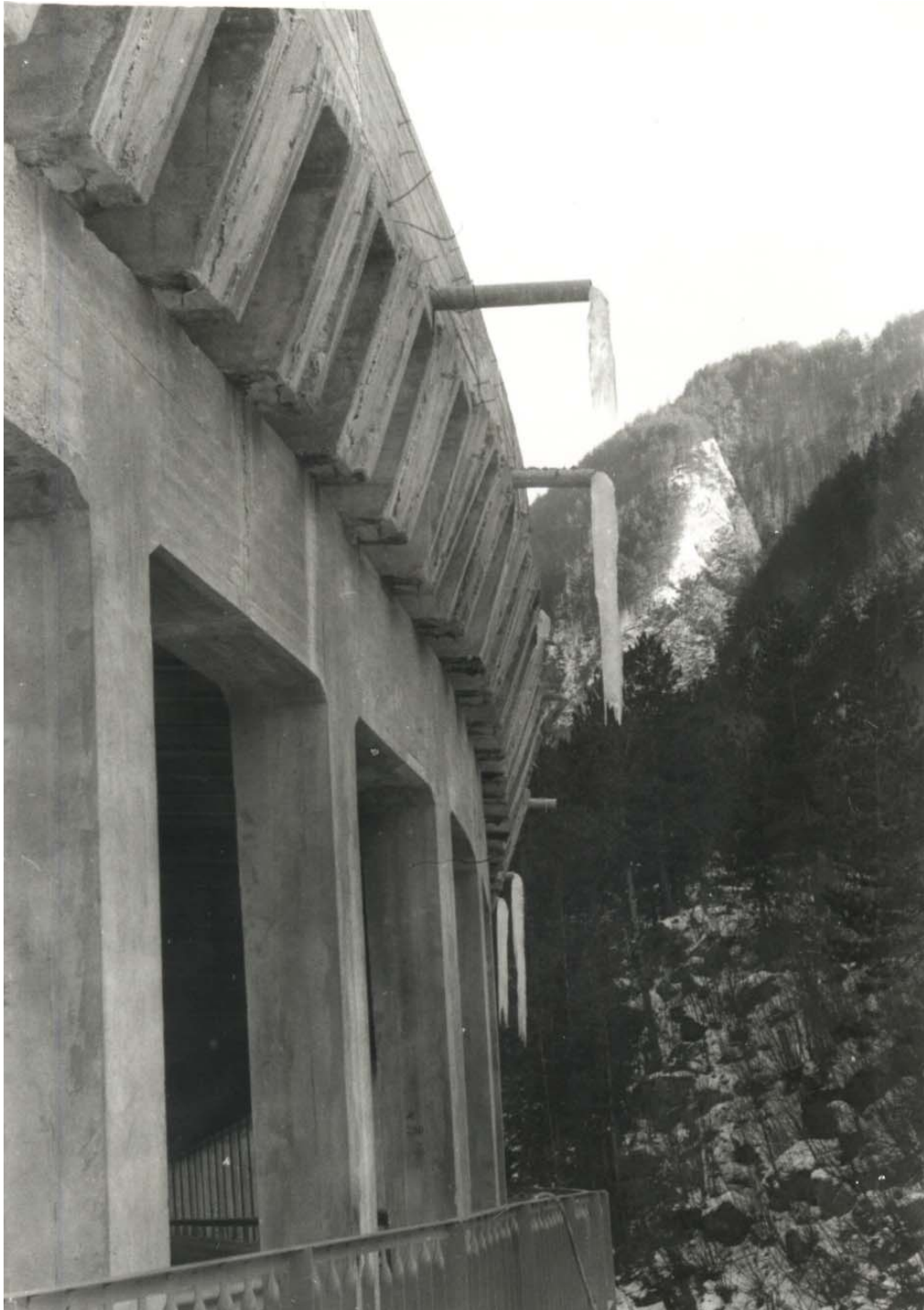
Фиг. 6.7 Конструкцията по време на изграждането и



Фиг. 6.8 Котраж и армировка на елементи с П-сечение



Фиг. 6.9 Изглед отвътре



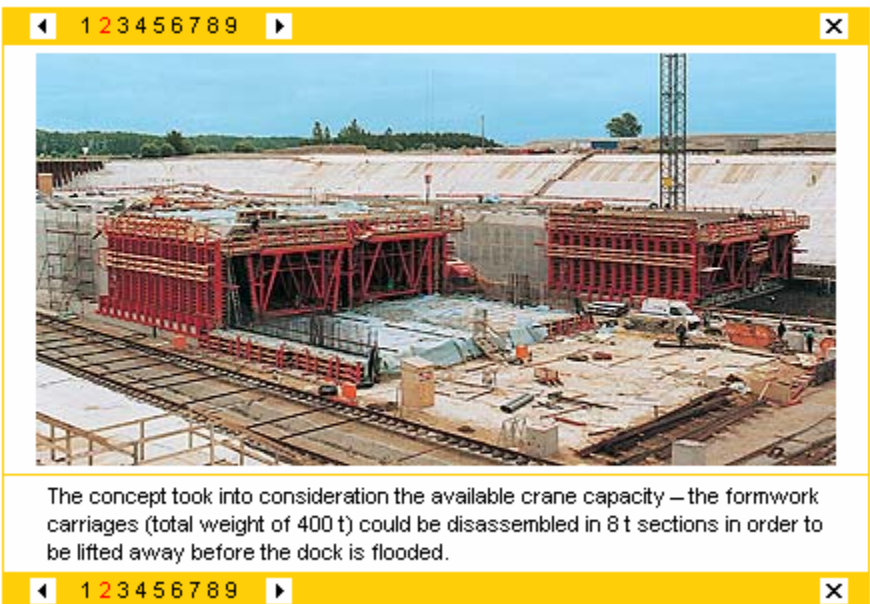
Фиг. 6.10 Изглед от към р. Въча

8. ПРИМЕРИ С ТУНЕЛИ В ЧУЖБИНА, ИЗПЪЛНЕНИ ПО ОТКРИТ СПОСОБ

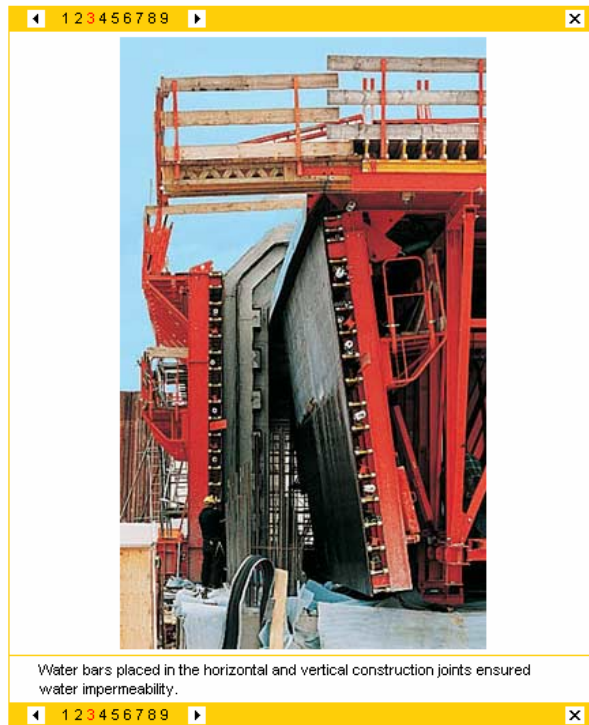
Luesslingen Tunnel, Solothurn, Switzerland



Warnow Crossing, Rostock, Germany



Warnow Crossing, Rostock, Germany



Warnow Crossing, Rostock, Germany



Six-lane tunnel near Zwickau in Saxony, Germany

◀ 1 2 3 ▶



Shifting the formwork carriage little by little..

◀ 1 2 3 ▶



Engstlige Tunnel, Frutigen, Switzerland

◀ 1 2 3 4 5 6 ▶

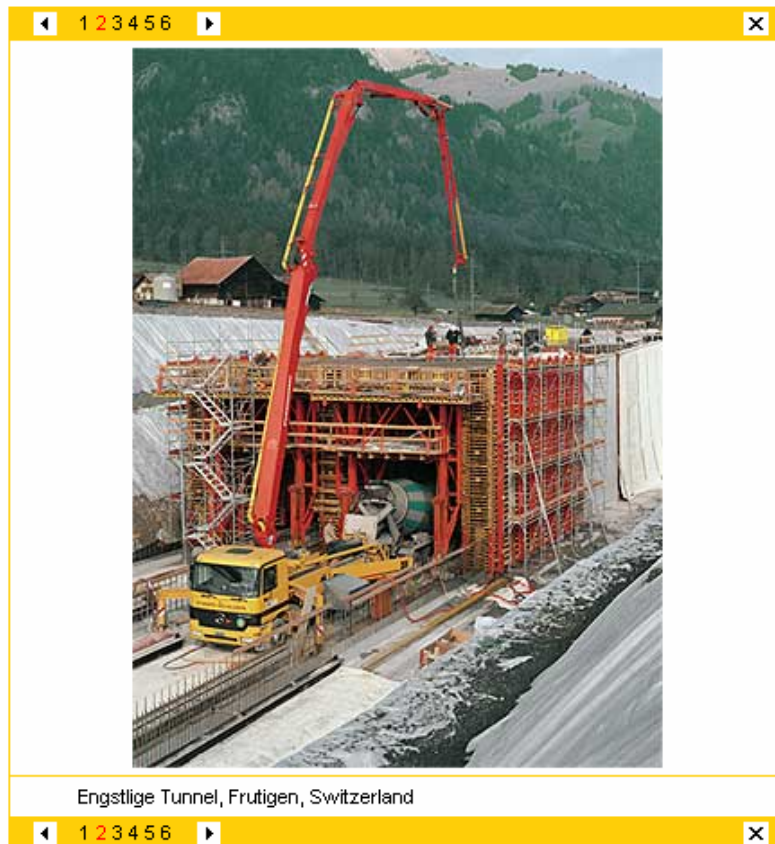


The casting sequence proposed by PERI, together with the optimally dimensioned formwork traveler, ensured that construction work was carried out accurately with top quality concrete finishes.

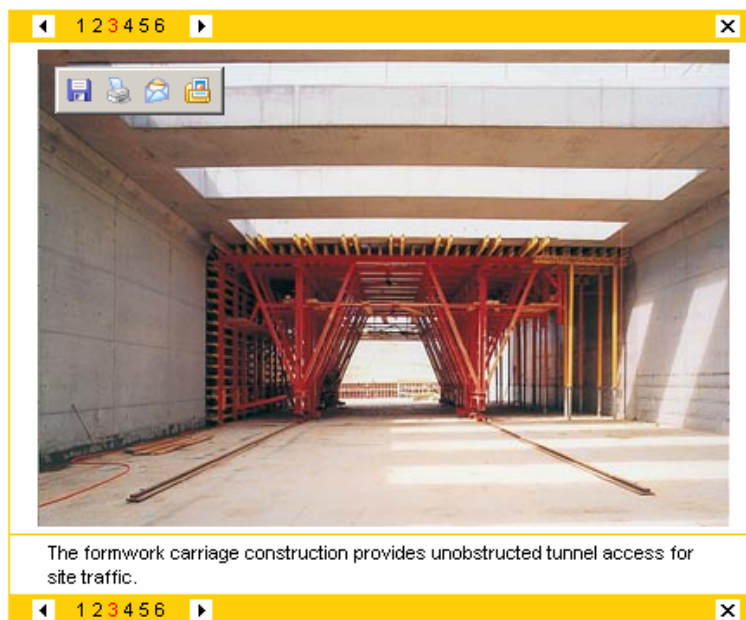
◀ 1 2 3 4 5 6 ▶



Engstlige Tunnel, Frutigen, Switzerland



S1 Tunnel Rannersdorf, Austria



S1 Tunnel Rannersdorf, Austria

◀ 1 2 3 4 5 6 ▶



Slab box-outs — the so-called "sheds" — are formed with TRIO elements on the slab formwork. They increase tunnel safety operations in the entrance and exit areas.

◀ 1 2 3 4 5 6 ▶



Øresund Link between Denmark and Sweden - The tunnel

◀ 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 ▶

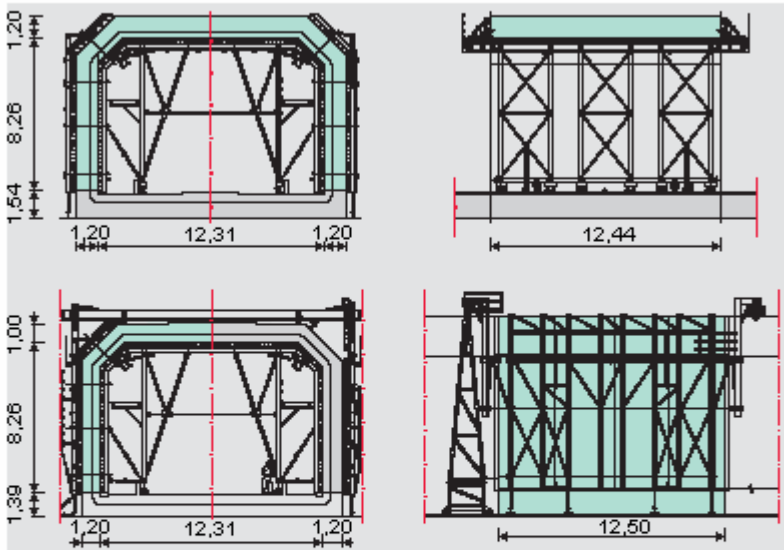


◀ 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 ▶



Denkendorf Tunnel, Nuremberg – Ingolstadt Rail Route, Germany

◀ 1 2 3 4 5 6 ▶



Drawing 1: Standard cross-section of front carriage: internal formwork carriage with external formwork in position.

Drawing 2: Longitudinal section of front form set: internal formwork carriage with stopend formwork in concreting position.

Drawing 3: Cross-section of rear carriage: left – internal and external formwork in casting position right – ties removed, external formwork struck, internal formwork still set.

Drawing 4: Longitudinal section of rear carriage: external formwork carriage in concreting position.

◀ 1 2 3 4 5 6 ▶

4 th Tunnel of the Elb; North Ramp, Hamburg, Germany

◀ 1 2 3 4 5 6 7 ▶



The carriage was struck by taking out the top panel and releasing the compression braces.

◀ 1 2 3 4 5 6 7 ▶

Denkendorf Tunnel, Nuremberg – Ingolstadt Rail Route, Germany

◀ 1 2 3 4 5 6 ▶



Fast moving re-shoring: HD 200 heavy duty props arranged on PERI UP Rosett units which form temporary props and are installed immediately after the formwork carriage is moved.

◀ 1 2 3 4 5 6 ▶



Denkendorf Tunnel, Nuremberg – Ingolstadt Rail Route, Germany

◀ 1 2 3 4 5 6 ▶



Denkendorf Tunnel, Nuremberg – Ingolstadt Rail Route, Germany

◀ 1 2 3 4 5 6 ▶



Soedra Laenken Tunnel, Stockholm, Sweden

◀ 1 2 3 4 5 6 7 8 ▶



Birds-eye-view of the site. At the completion of the construction work PERI systems had formed about 225,000 m³ of concrete.

◀ 1 2 3 4 5 6 7 8 ▶



7. СНИМКИ ОТ ИЗГРАЖДАНЕ НА СОФИЙСКОТО МЕТРО

7.1. Участък в оста на бул. Т. Александров



Фиг. 7.1. Изграждане на монолитна конструкция на тунел



Фиг. 7.2. Укрепване със шлиц-стени с разпорки и кофраз за монолитна конструкция

7.2. Участък между станции Сливница и Обеля



Фиг. 7.3. Монтаж на едроразмерен кофраз



Фиг. 7.4. Преминаване на тунела под ж.п. линия София-Белград



Фиг. 7.5. Армировка на тунел



Фиг. 7.6. Бетониране на стени



Фиг.7.7. Армировка и кофраз за стени



Фиг. 7.8. Открит участък



Фиг. 7.9. Метростанция “Обеля”, разположена на мост над р. Какач

7.3. Метростанция при парк хотел “Москва”



Фиг. 7.10. Укрепване с изливни пилони и направа на изкопа



Фиг. 7.11. Укрепване с изливни пилоти с анкери



Фиг. 7.12. Укрепване с изливни пилоти и част от изпълнената станция



Фиг. 7.13. Открит участък след станцията по посока “Дървеница” със шумозаглушителни стени



Фиг. 7.14. Преходна рампа от станцията към открит участък