

# Конструктивно изследване на бетонови и стоманобетонени тръбопроводи и водостоци



инж. Георги Колев

СБКИ АД

06/2019



www.sbki-bg.com

**СБКИ АД**

Ал. Стамболийски 9а, 4004 Пловдив  
Тел. (032) 600 810, Факс (032) 600 833  
ЕИК по БУЛСТАТ 115948268  
Email: sbki@sbki-bg.com

## 1. Принципи на проектиране

Силите, действащи на напречно сечение на тръбопровода, възникват от три основни източника:

- А) Тегло на обратен насип..
  - Б) Натоварванията на почвата, предавани на тръбата от повърхностни товари, т.е. трафик и други преходни товари.
  - В) Опорна реакция под тръбата.
- Теглото на водата в тръбата е значимо само за тръбите с по-голям диаметър.

### А: Теглото от обратен насип.

Има четири основни състояния, при които тръбите се инсталират:

- а) "Тесен" изкоп.
- б) "Широк" изкоп или върху повърхността на земята, върху която се изгражда насип.
- в) Тесен терен, върху който след това се изгражда насип.
- г) Тунелен способ.

Дадените по-долу таблици са приложими само за твърди тръби, поставени в "тесни" условия на изкоп.

### Б: Трафик и други преходни товари

Измерванията показват, че при големи строителни съоръжения тръбите могат да бъдат подложени на най-голямото им натоварване по време на строителство и монтаж.

Ако по време на строителството се установи, че ще се получи прекомерно натоварване на обекта, проектът трябва да бъде проверен съответно или трябва да бъдат определени специални места за пресичане на тежка техника.

а) Основното натоварване по пътищата е предназначено да се прилага за всички основни трасета и за пътища, които могат да бъдат използвани за временно отклоняване на тежки трасета. Тръбопроводите и водосточите под пътища и около тях се класифицират като малки съоръжения и натоварването върху тях се определя съгласно EN 1991-2 "Подвижни товари от трафик върху мостове".

В настоящата документация се използват най-неблагоприятната ситуация на натоварване от система LM1 при тежконатоварени пътища.

Характеристичните стойности на товарите, предвидени за определяне на ефектите от трафик, са свързани с проверките на крайни гранични състояния и с отделни проверки на експлоатационна годност.

б) Лекото натоварване на пътя се отнася за всички останали вътрешни пътища, паркинги, за автомобили до 16 тона, където е малко вероятно да се стигне до тежък трафик.

в) Натоварване върху поле се отнася за полета, градини и трасета с ограничен достъп. Това натоварване също се отнася за случаи на случайни купчини или купища материали на повърхността на земята. Масови купчини или купчини, които биха могли да причинят по-тежко натоварване, трябва да бъдат третираны като специален случай.

При оценката на категорията на натоварване трябва да се обърне внимание на възможното бъдещо модернизиране на пътя. За частни пътища, като например пътища в рамките на строежи, следва да се направи оценка на най-тежкото превозно средство, което има вероятност да използва пътя, и едно от изброените по-горе три условия на натоварване, избрани според случая.

### В: Опорна реакция на тръбата

Опорната реакция зависи от начина на монтаж на тръбата – свободно, тромбовано, бетоново или стоманобетоново легло. В зависимост от начина на подпиране се определя и изчислителна якост на смачкване  $F_u$  – сила дефинирана при стандартен тест на изпитване при три точково въздействие съгласно EN 1916. Освен максималната сила на смачкване, тръбите не трябва да се напукват с повече

от допустими граници под даденото натоварване. Единственото изпитване за товарносимост на тръбите е максималното натоварване  $F_u$ .

### Коефициент на леглото

При стандартното изпитване на тръбите вертикалното натоварване и поддържащите реакции са линейно разпределени/ три точки в разрез/. При каквато и да е ситуация в действителност е малко вероятно да доведе до такова тежко състояние на натоварване. Следователно якостта на тръбата, определена при изпитването за смачкване, може да бъде умножена по коефициент на леглото. Той представлява редуциране на силите, с които се извършва натоварванията в тръбата, поради разпределянето им от подложката и начина на действителното разпределено натоварване. Този коефициент е връзката между реалното натоварване, леглото на стъпване и силата на смачкване на тръбата  $F_n$  дефинирана съгласно EN 1916.

## 2. Начални приемания

### Повърхностни условия

Таблиците са приложими само за един тръбопровод, разположен в нейния собствен изкоп, и са зададени, за да дадат натоварването на тръбите под три повърхности натоварвания - главни пътища, паркинги, вътрешни улици и полета.

### Товар от обратен насип

Таблиците се изчисляват, като се използва еквивалентна плътност на почвата от  $19,6 \text{ kN} / \text{m}^3$  (приблизително 2 тона /  $\text{m}^3$ ).

Приет еквивалентен ъгъл на вътрешно триене  $\varphi=33^\circ$

Коеф. за натоварване  $\gamma_f=1,35$ .

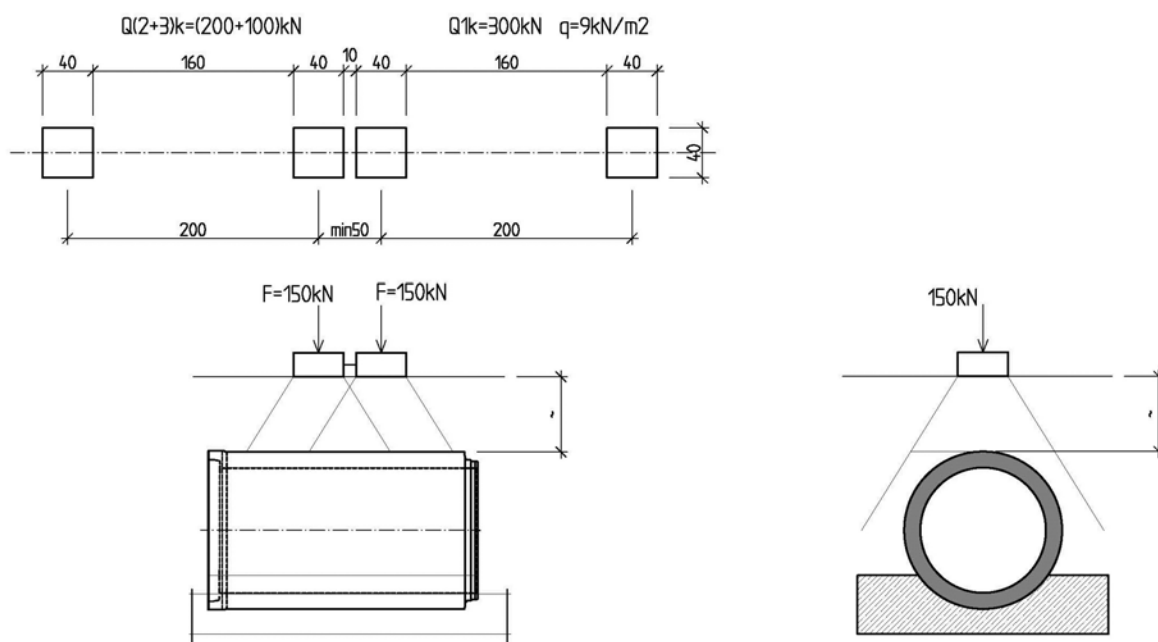
### Натоварвания от трафик

Натоварванията, посочени в принципите за проектиране, имат стойности, както следва:

а) Главни пътища

Най-неблагоприятен товар от натоварване LM1 тандем система при местна проверка съгласно EN1991-2:2003–  $Q_{1k}=300\text{kN}$ ,  $Q_{(2+3)k}=300\text{kN}$  /2сили по  $150\text{kN}$ , контактен товар  $937,5\text{kN}/\text{m}^2$ / - водостоци и канализации минаващи под и в близост до пътища I,II,III клас, магистрали. Коеф. за натоварване  $\gamma_f=1,5$ .

### Натоварване LM1 - тандем система при местна проверка



б) паркинги , вътрешни улици – бруто тегло на автомобил до 16т.

Статично натоварване на ос  $Q_1=90\text{kN}$  /товар от колелото  $F= 45\text{kN}$  /приета схема на натоварване като LM1 местна проверка /; разпределен товар  $5 \text{ kN} / \text{m}^2$ . . Коэф. на натоварване  $\gamma_f=1,5$ .

в) Полета, паркове, градини – възможно паркиране автомобили, струпване на купчини и други.

Прието статично натоварване на ос  $Q_1=60\text{kN}$ / товар от колело  $F= 30\text{kN}$ /приета схема на натоварване като LM1 местна проверка / . . Коэф. на натоварване  $\gamma_f=1,5$ .

### 3. Метод на проектиране

#### Тесен изкоп

Тръбопроводите се полагат в окопи и използваните тръби са проектирани да носят запълване/обратен насип/ и натоварвания на трафика, полезен товар, воден напор.

За да се подобри товарносимостта на тръбата, тя се полага върху един от няколко класа легла (виж таблица T1). На всеки тип легло се дава "коэффициент на леглото" ( $F_m$ ), който може да се разглежда като мултипликатор, приложен към изпитвателния товар на тръбата съгласно EN 1916

Изкопът се изкопава в естествената почва, тръбата се полага върху избраното легло и и се изпълва обратен насип. Натоварването на тръбата, дължащо се на обратен насип, е следователно теглото на запълването, заемано от цялата ширина на прореза, но намалявано от силата на срязване от стените на канала/неразкопананата почва/, действащи нагоре (виж фиг. A1). Това състояние се нарича „тесен“ изкоп. Натоварването от почва се изчислява с помощта на формулата на Марстън:

$$W_c = C_d w B_d^2$$

$W_c$  – натоварване от обратен насип. [kN/m]

$C_d$  - коэффициент на натоварване, зависещ от типа на почвата и съотношението между дълбочина и ширина на изкопа.

$B_d$  – ширина на изкопа

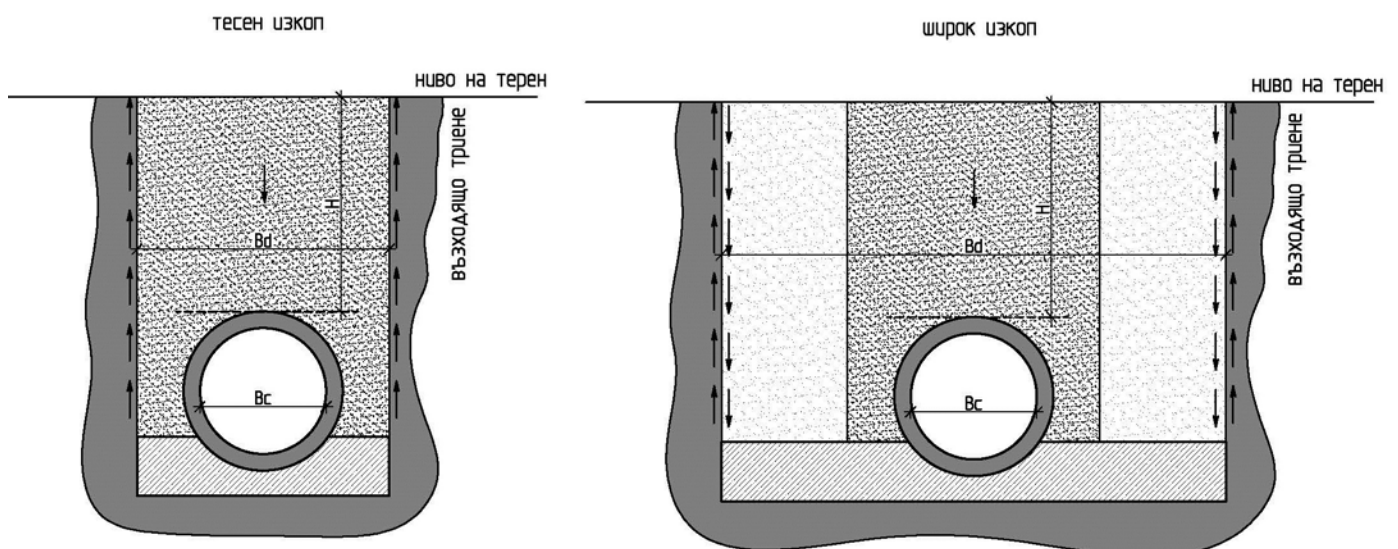
$w$  – обемна плътност

При условие, че ширината на канала не надвишава стойностите, дадени в таблиците, посочените товари са консервативни и могат да се използват с увереност.

Дадените ширини на проходите ще осигурят подходящо работно пространство около тръбата за полагане и съединяване, а също и достатъчно място за поставяне и консолидиране на специфицираното легло.

Както е посочено, триенето, действащо срещу запълването, се осигурява от стените на изкопа и е приблизително постоянно на определена дълбочина. Ако обаче ширината на канала се увеличи радикално,  $B_d$  във формулата на Марстън също се увеличава и натоварването се изчислява като за изцяло насипан терен. В дадените таблици са разгледани случаите само за тесен изкоп.

Фиг. A1 и A2



За всяка дълбочина има ширина на канала, където равнините на триене от стените на канала се отдалечават от тръбата и вече не допринасят за намаляване на натоварването от обратен насип. Всъщност наличието на страничните призми от обратен насип води до увеличаване на натоварването (виж фиг. А2). Това състояние се нарича широко състояние на изкопа, или т.н. „положително прожекционно условие“. Обратният насип над тръбата не поема никакво облекчение от неизкопаната земя.

При подготовката на таблиците се обръща необходимото внимание на това дали при всяка ширина и дълбочина на проходите е приложимо тесните условия на насипване и натоварването. Таблиците дават общото натоварване за тръбите с всички диаметри. Това натоварване включва натоварване от почва и трафик за дълбочини над горната част на тръбата.

### **Трафик**

Натоварването от трафик, приложено като система от сили, е приложено върху темето от тръбата изчислено с формулата на Boussinesq.

### **Общо натоварване**

$$W_e = W_c + W_n$$

$W_e$  – общото натоварване върху тръбата дадено в таблици T2-4 [kN/m]

$W_c$  – натоварване от обратен насип

$W_n$  – натоварване от автомобилен трафик

## **4. Легло на тръбата**

Товароносимостта на монтирания тръбопровод зависи директно от конструкцията на леглото, която е предназначена да изравнява всякакви неравности и да осигури равномерна опора около и по дължината на тръбния цилиндър.

Намаляването на товара върху тръбите ще бъде сведено до минимум чрез правилното подбиране и уплътняване на материала за леглото. Леглото трябва да бъде уплътнено до плътност не по-малка от тази на естествената почва в страните и дъното на окопа.

При стръмни наклони или когато е извършено обезводняване, е важно да се ограничи движението на подземните води в рамките на окончателния изкоп. При никакви обстоятелства не трябва да се поставят блокове или тухли, подложки под тръбите. Всички такива елементи, използвани за подравняване или изравняване, трябва да бъдат премахнати.

### **Материали**

Всяка стабилна почва ще действа адекватно като материал за легло, при условие че е поставена и уплътнена около тръбопровода. От практическа гледна точка гранулираният материал се уплътнява по-лесно и е широко приет.

Материалът за леглото трябва да бъде с размер на частиците, подобен на този в страните на изкопа. Когато почвата е глина или наноси, материалът за леглото трябва да се състои от ситен уплътнен чакъл/баластра/, за да се избегне превърщането му в дренаж около тръбата.

Материалът трябва да е унифициран, освободен от корени на дървета, растителна материя, строителни боклуци и замръзнала почва. Когато се използва като пълнеж, материалът не трябва да съдържа големи глинени гранули или калдъръм. Когато се използват за подложно легло, всички глинени бучки трябва да бъдат премахнати.

### **Класове на леглото**

Здравината на инсталирания тръбопровод зависи от съчетанието на якостта на тръбата и класа на подложното легло.

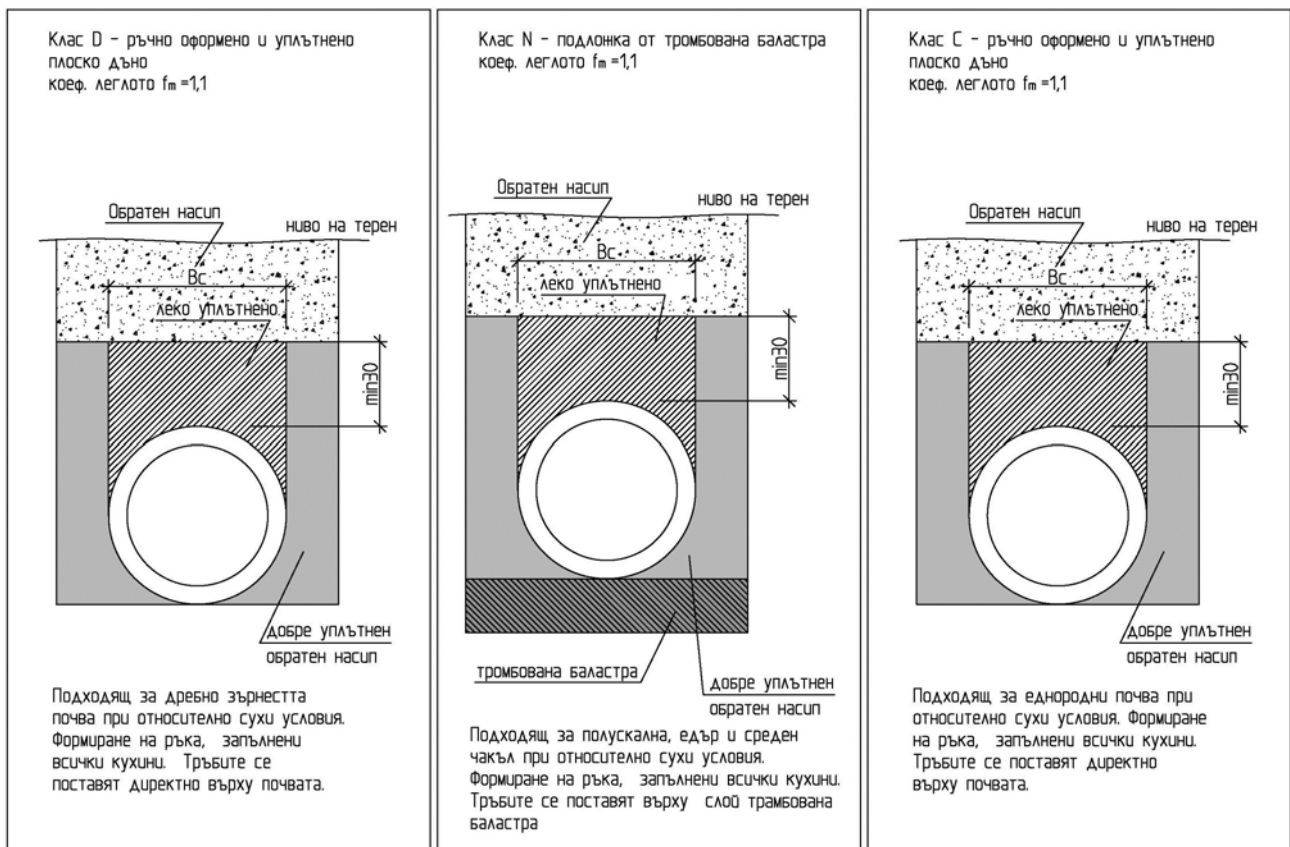
Изборът на клас за легла е повлиян от много фактори, които включват естеството на земята, натоварването, което действа върху тръбопровода в изкопа, наличието на определен клас на якост на тръбата, както и местната цена и наличността на постелъчния материал.

Обикновено изчисленията за натоварването се правят с оглед на тръбопровода в пълна дължина, между две шахти. Изчисленият клас на якост за тръба, който задоволява най-тежкото състояние на натоварване между всяка двойка шахти, след това се използва по цялата дължина. Въпреки това има случаи, когато може да е необходимо да се използва по-висок клас легло за кратко разстояние, където локално се увеличава натоварването, например при пресичане на пътища или в насип.

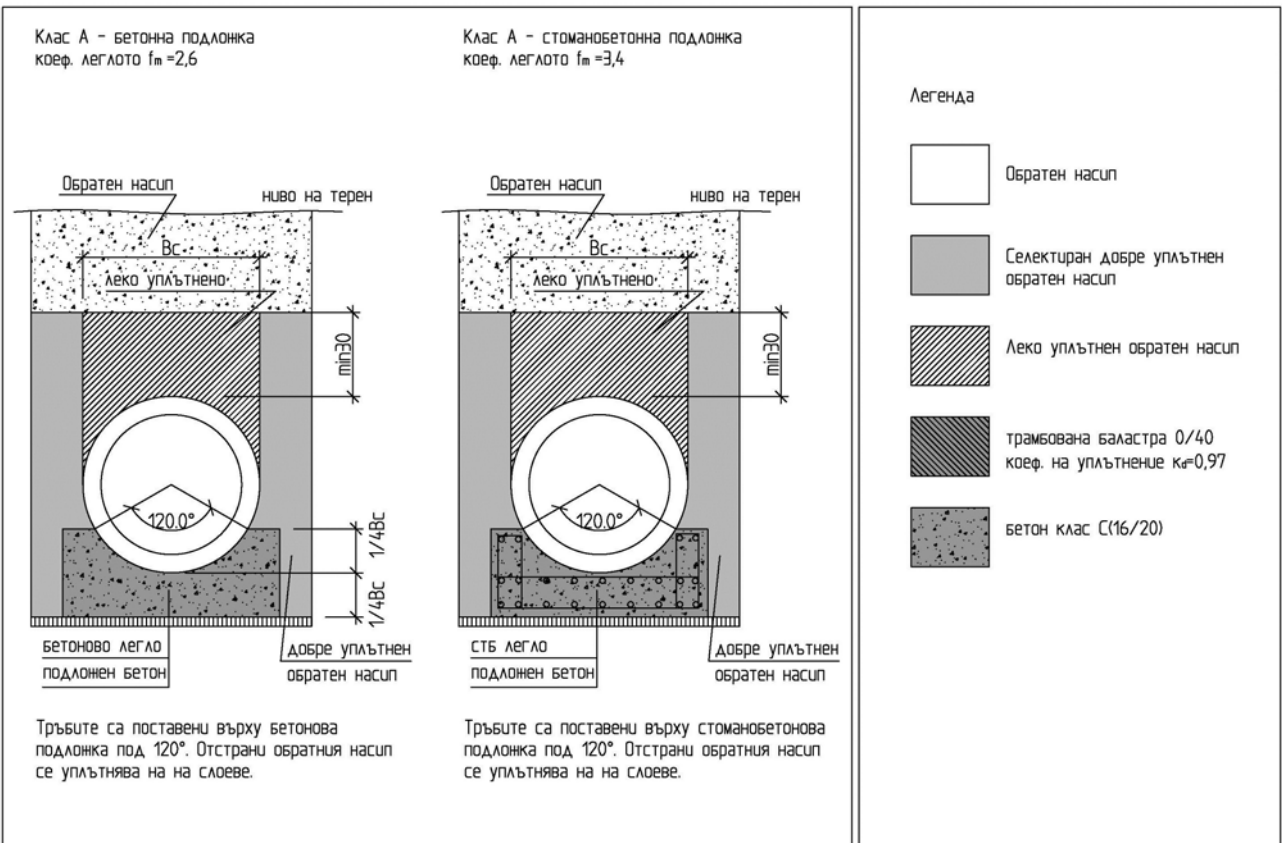
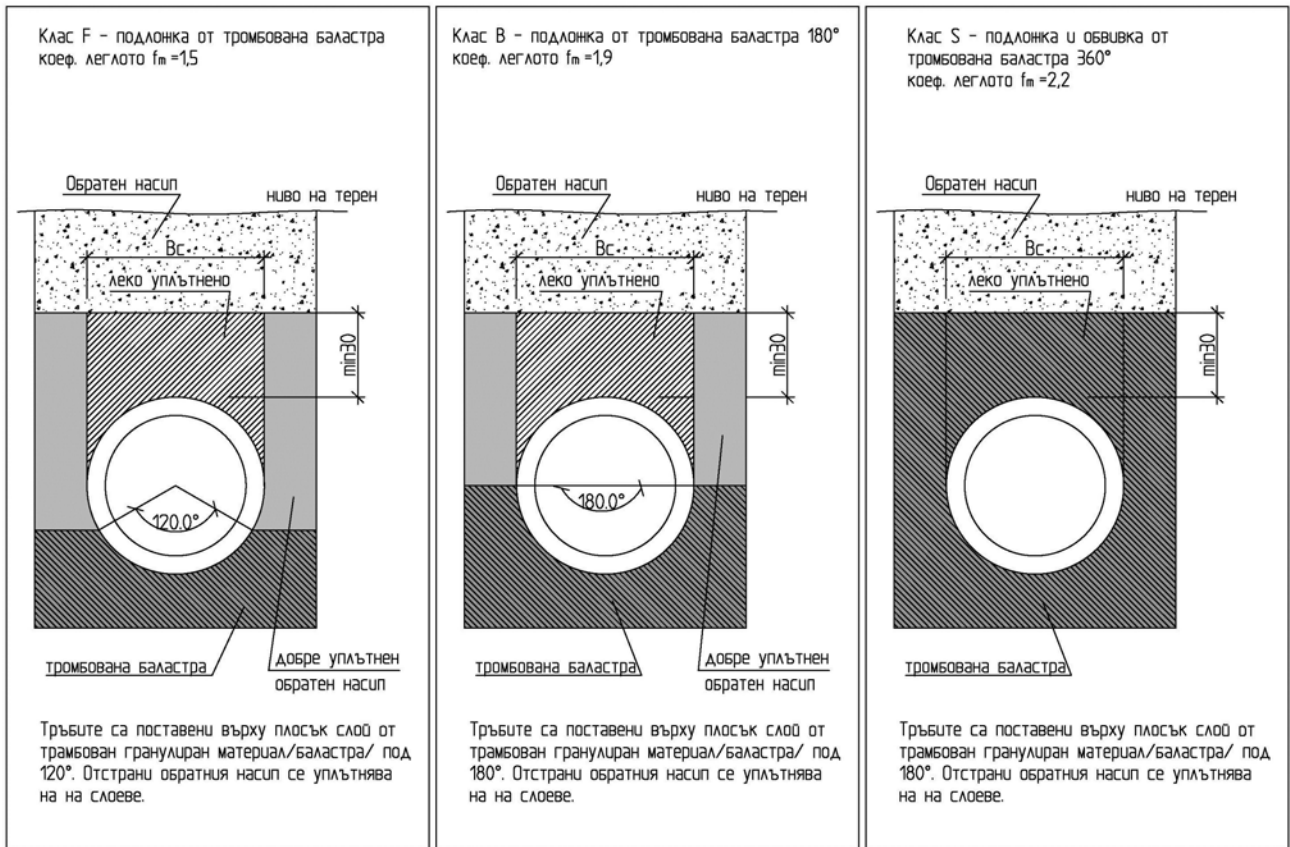
Табл. Т1

Типове подложно легло	Коефициент на леглото $f_m$	Описание	Тип почва
Class D	1.1	Ръчно оформено и уплътнено плоско дъно	Финно зърнести почви, относително сухи условия
Class N	1.1	Подложка от тромбована баластра или друг материал	Полусклани, едър и среден чакъл
Class C	1.1	Ръчно оформено и уплътнено плоско дъно	Еднородна почва
Class F	1.5	Оформени легла от гранулиран материал под 120°	Всякаква
Class B	1.9	Оформени легла от гранулиран материал под 180°	Всякаква
Class S	2.2	Оформени легла от гранулиран материал под 360°	Всякаква
Class A	2.6	Бетонно легло 120°	Всякаква почва под натоварени участъци, пътища, магистрали
Class A	3.4	Стоманобетонно легло 120°	

Фиг. А3



Фиг. А3





## 5. Изчисление на якост на смачкване $F_n$ /сила на разрушение/, съгласно EN 1916

$$F_n = \frac{W_e \cdot \gamma_c}{f_m}$$

$F_n$  – изискваната от EN1916 якост на смачкване, разрушение / $F_{\text{разр}}$ /

$W_e$  – общото натоварване върху тръбата, даден в таблици T2;T3;T4

$\gamma_c$  – коефициент на сигурност приеман от 1 до 1,5 – 1~1,2 за стоманобетонни тръби; 1,25~1,5 за бетонови тръби;

$f_m$  – коефициент на леглото, даден в табл. T1

табл. T2

втр. диам. трър	Главни пътища, магистрали - общо натоварване $W_e$ за дълбочина[m] до горно теме на тръбата [kN/m']																препоръчителна ширина на изкопа[m]
	0,6	1	1,5	2	2,5	3	3,5	4	4,5	5	5,5	6	6,5	7	7,5	8	
500	199	132	108	108	115	133	149	165	183	200	218	237	255	273	292	310	1,9
600	224	149	120	118	125	135	158	175	194	212	231	250	269	288	308	327	2
800	266	181	145	140	147	158	181	200	220	241	262	283	305	326	348	370	2,25
1000	302	211	172	167	176	190	205	221	258	281	305	330	355	380	405	430	2,6
1200	332	231	187	180	188	201	217	234	270	294	319	344	370	396	422	448	2,7
1500	383	262	216	210	219	234	253	273	293	336	364	392	421	450	479	509	3,05

табл. T3

втр. диам. етрър	вътрешни улици, паркинги коли до 16т - общо натоварване $W_e$ за дълбочина[m] до горно теме на тръбата [kN/m']																препоръчителна ширина на изкопа[m]
	0,6	1	1,5	2	2,5	3	3,5	4	4,5	5	5,5	6	6,5	7	7,5	8	
500	80	71	78	90	104	125	143	161	179	197	216	234	253	272	290	309	1,9
600	88	78	84	97	111	125	151	170	189	208	228	247	267	287	306	326	2
800	103	93	99	113	129	145	172	193	215	236	258	280	302	324	346	368	2,25
1000	118	108	116	134	153	174	193	212	250	275	301	326	351	377	402	428	2,6
1200	129	116	124	141	162	183	203	223	261	287	313	339	366	392	418	445	2,7
1500	147	132	142	163	187	212	236	260	282	327	357	386	416	446	475	505	3,05

табл. T4

втр. диам. трър	полета, паркове, градини - общо натоварване $W_e$ за дълбочина[m] до горно теме на тръбата [kN/m']																препоръчителна ширина на изкопа[m]
	0,6	1	1,5	2	2,5	3	3,5	4	4,5	5	5,5	6	6,5	7	7,5	8	
500	63	63	74	88	102	124	142	160	178	197	216	234	253	271	290	309	1,9
600	69	68	79	94	109	124	150	169	188	208	227	247	267	286	306	326	2
800	80	80	92	109	126	144	170	192	214	236	257	279	302	324	346	368	2,25
1000	92	93	108	129	150	171	192	211	249	275	300	325	351	376	402	427	2,6
1200	99	99	115	136	158	180	201	221	260	286	312	339	365	391	418	444	2,7
1500	114	113	131	156	182	208	233	258	281	326	356	385	415	445	475	505	3,05

- При наличие на натоварването от воден напор, стойностите му могат да се добавят към дадените.



Пример: Водосток с диаметър  $\phi 1200$  ще се монтира на дълбочина от к.г.р. пътно платно до к.г.р тръба  $H=1\text{m}$  на път клас I. Каква ще е необходимата якост на смачкване съгласно EN1916?

От табл. 2 взимаме даденото натоварване  $W_e=231\text{kN/m}'$ . За водостоци е прието леглото да е клас А – бетоново или стоманобетоново. Приемаме бетоново легло като от табл. 1 отчитаме коефициента на леглото  $f_m=2,6 \cdot \gamma_c=1,2$  – за стб тръба

$$F_n = \frac{W_e \cdot \gamma_c}{f_m} = \frac{231 \cdot 1,2}{2,6} = 106,62 \text{ kN / m'}$$

На производителя задават необходимата стойност на  $F_n$  на която тръбите трябва да отговарят. За случая подходяща тръба от каталога на СБКИ е  $\phi 1200$  ТКСБ-М-1200x2000 клас II с  $F_n/F_{разр}=108\text{kN/m}'$ .

Тест за якост на смачкване – лаборатория на СБКИ



Забележка: Този материал има за цел да подпомогне определянето на необходимата якост на смачкване за бетонови и стоманобетонови тръбопроводи и водостоци. Дадените в таблиците стойности са ориентировъчни и са направени на база приемания за товар от еквивалентен товар/насип/, определени по методика Marston/Sprangler. За всеки конкретен обект и случай е необходимо инвестиционен проект и изчисляване съгласно БДС EN1295.

инж. Георги Колев  
СБКИ АД

Литература:

БДС EN1295 – Статическо оразмеряване на подземни тръбопроводи при различни условия на натоварване

БДС EN 1916 - Тръби и фасонни части от неармиран бетон, бетон със стоманени нишки и армиран бетон

БДС EN1991-2 – ЕВРКОД 1: Въздействие върху строителни конструкции. Част 2 – Подвижни натоварвания от трафик върху мостове.

CPSA – Technical design guide Oct 2006

Concrete Pipe design Manual – Loads and support strengths based on Marston/Sprangler Design Procedure