



*Получена: 31.05.2019 г.*

*Приета: 01.07.2019 г.*

## ЗАЗДРАВЯВАНЕ НА ЗЕМНАТА ОСНОВА ЧРЕЗ ИНЖЕКТИРАНЕ ПОД НИСКО НАЛЯГАНЕ

М. Русева<sup>1</sup>

*Ключови думи: заздравяване, инжектиране, ниско налягане, тръба с отворен край, тръба с маниети*

### РЕЗЮМЕ

Заздравяването на земната основа под съществуващи фундаменти е един от основните проблеми на съвременното геотехническо инженерство. Редица фактори могат да причинят повреда в сгради и съоръжения с висока обществена значимост, чието решаване често пъти е възможно само чрез подобряване на свойствата на земната основа чрез инжектиране на разтвори под високо или ниско налягане. Друга сфера, в която инжектирането намира широко приложение, е тунелното строителство. В настоящата статия са представени основните принципи и методи при инжектиране под ниско налягане. Разгледани са предимствата и недостатъците им, както и областите на приложение.

### 1. Заздравяване чрез инжектиране

Инжектирането представлява строителен процес, при който в празнини или пукнатини се вкарва под налягане разтвор от вещества, имащ свойството да се втвърдява след определено време. По този начин се предизвиква уплътняване, заздравяване или нагряване на инжектираната среда. На табл. 1 са показани два принципни типа инжектиране – скално и почвено.

---

<sup>1</sup> Мария Русева, инж., кат. „Геотехника”, УАСГ, бул. „Хр. Смирненски“ № 1, 1046 София, e-mail: ruseva\_m@yahoo.com

**Таблица 1. Типове инжекционни материали [1]**

<b>Принципен тип инжектиране</b>	<b>Специфичен тип инжектиране</b>
Скално инжектиране	Цепнатини (използване на фугираща смес с висока подвижност – НМГ)
	Кухини (естествени и изкуствени, използване на фугираща смес с ниска подвижност – LMG)
Почвено инжектиране	Инжектиране чрез пропиване
	Уплътнително инжектиране
	Хидро-струйно заздравяване
	Инжектиране чрез разриви

## **2. Видове методи на инжектиране**

### **2.1. Скално инжектиране [2, 3]**

Според издание на британската The Construction Industry Research and Information Association – CIRIA (1997) в практиката се прилагат следните видове инжекционни методи (фиг. 2): Характерно е най-вече в подземното строителство. В зависимост от неговите задачи се определя като запълнително, подкожно, заздравително и напругащо.

Запълнителното инжектиране има за задача да запълни евентуално останали празнини между скалния масив и облицовката, които се получават най-често при ръчно бетониране в тавана на изкопа. В резултат облицовката се оказва в по-неблагоприятна обстановка от статистическа гледна точка. Това състояние, което може да доведе до напукване на подземната конструкция, може да се отстрани чрез запълване на празнините и създаване на плътен контакт между облицовката и скалата. Тази задача се възлага на запълнителното инжектиране, което се изпълнява непосредствено след като бетонът набере достатъчно голяма якост, за да може да понесе натоварването от планинския натиск и от инжекционното налягане.

Подкожното инжектиране по своята същност е запълнително. Използва се при многопластови облицовки и по-специално при изпълнение на стоманени брони. В такива случаи вследствие на съсъхването, пластичните деформации и пълзенето на бетона и на скалния масив и в резултат от охлаждането на облицовката от въздуха и протичащата през нея студена вода отделните ѝ пластове се отлепват един от друг. Създават се празнини, които съществено влошават статическата работа на подземната конструкция и трябва да бъдат отстранени чрез инжектиране на подходящи разтвори.

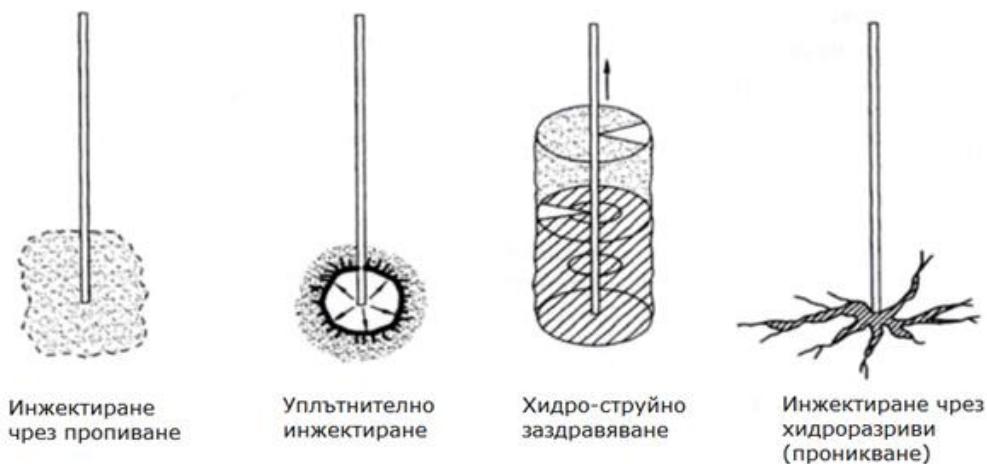
Заздравителното инжектиране, което по реда на извършването е второетапно, има за задача да заздравя и уплътни скалния масив около подземния изкоп. Известно е, че вследствие на взривните работи и създаденото вторично напрегнато състояние скалният масив около извършения изкоп се разхлабва и напуква, и това явление е най-ярко изразено в тавана. Независимо от това в резултат от тектонските процеси са налице различни системни пукнатини, натрошени и стрити зони, които представляват пътища на подземните води, но могат да станат причина за съществени загуби от филтрация през облицовките на подземните напорни съоръжения. Напукаността и натрошеността на скални-

те масиви намаляват съществено техните механични качества и увеличават деформируемостта им. Всичко това води до влошаване на статическата и хидравличната работа на облицовките, особено на напорните съоръжения, и налага да се запълнят всички пукнатини и празнини в скалния масив на определено разстояние от стените на изкопа. По този начин се запущват пътищата за движение на водата и се създава връзка между отделните скални късове, което води до уплътняване и заздравяване на скалния масив около подземния изкоп. Постигнатият ефект зависи от много обстоятелства, голяма част от които могат да се уточнят само чрез оптимални инжекционни работи в производствени условия. Заздравителното инжектиране се използва и като надеждно помощно средство за извършване на подземни изкопи в неустойчиви и водоносни скални масиви. В такъв случай под прикритието на опорна стена при забоя се инжектира на определено разстояние напред и след свързването на разтвора, предизвиква заздравяване и уплътняване на скалния масив, изкопните работи могат да продължат при съществено подобрени условия.

Напрягащото инжектиране се използва за изграждане на предварително напрягнати подземни конструкции. В този случай инжекционният разтвор се нагнетява с определено налягане в специално оставена около облицовките празнина и ги напряга на натиск. След като инжекционният разтвор се втвърди, част от това натисково напрежение в бетонната конструкция, натоварена при експлоатационни условия на ексцентричен натиск или опън, остава. По този начин се използват по-пълно якостните качества на бетона, като се повишава и неговата пукнатиноустойчивост.

## 2.2. Почвено инжектиране

Според издание на британската The Construction Industry Research and Information Association – CIRIA (1997) в практиката се прилагат следните видове инжекционни методи (фиг. 1).



Фиг. 1. Схематично представяне на почвено инжектиране [1]

Инжектиране чрез пропиване на дисперсна почва (permeation grouting) – изразява се в запълване на порите между зърната или частиците със суспензии и разтвори, без да се разрушава естествената структура на дисперсната почва.

Инжектиране чрез пропиване на скала (permeation rock grouting) – състои се в запълване на пукнатините и празнините в скалата, без да се образуват нови пукнатини и без да се предизвикват други нарушения.

И при двата метода след втвърдяване или сгъстяване на суспензиите или разтворите се повишава якостта и плътността на средата. Запазването на нейната естествена структура и избягването на възникването на нови пукнатини се постига чрез инжектиране на флуидите със сравнително малко налягане.

Налягането при инжектиране чрез пропиване варира от 1 до 3 bar. Понякога може да се инжектира и с по-високи налягания от 5 до 6 bar, когато има специални изисквания за това.

Инжектирането чрез пропиване се реализира със сондажи, чийто диаметър при скалите е между 35 и 75 mm, а при дисперсните почви – между 65 и 130 mm. Сондирането най-често е въртеливо – ударно. Видът и габаритите на сондата зависят от мястото, от където се извършва инжектирането: от повърхността, от забоя на подземна изработка, от мазе на сграда и т.н. В зависимост от това се използват различни машини, които варират от големи проучвателни сонди до сонди с малки размери. Разстоянието между инжекционните интервали в сондажа при напукани скали е обикновено от 3 до 5 m и според посоката на редуването на тези интервали се различава инжектиране отгоре-надолу и отдолу-нагоре.

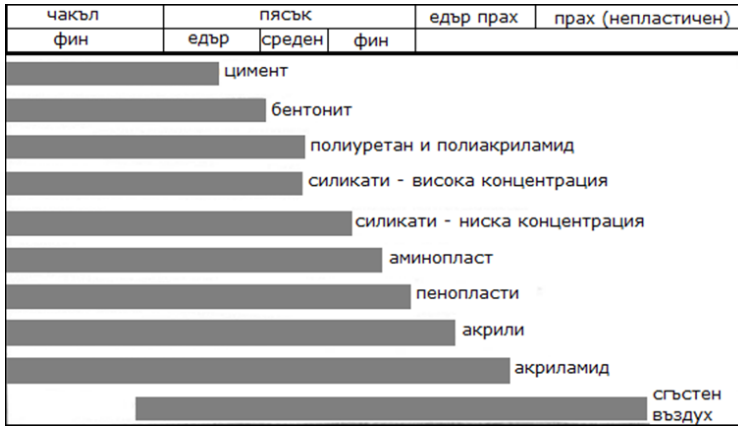
Първият начин се прилага по-често в практиката. При него се пробива най-горният интервал от сондажа, след това сондажната колона се изтегля с няколко метра и през нея се извършва инжектиране. Изчаква се втвърдяване на флуида, прави се повторно сондиране и се инжектира следващият надолу интервал. Този начин дава възможност да се регулира добре инжекционният процес и да се проверява неговият ефект.

При втория начин най-напред се пробива целият сондаж и след това започва инжектирането от долния му край към повърхността. Този начин е по-производителен, тъй като се разделят сондиране и инжектиране и се свеждат до минимум престойте. Главният проблем е тампонирането (ограничаването) на инжектираната зона, което трябва да се осигурява по протежение на целия сондаж. Ако скалата е много напукана инжекционният флуид може да мине над тампона и да го циментира.

При неголяма дебелина на пласта и равномерна напуканост е възможно инжектирането да се прави на целия пласт чрез херметизиран сондаж, което увеличава производителността.

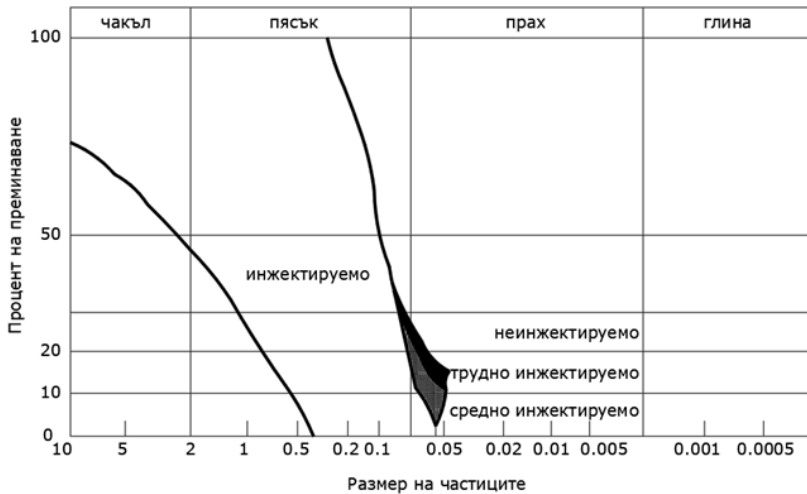
Според начина на подаване на инжекционния флуид в сондажа се различава затворено, циркуляционно и полуциркуляционно нагнетяване. Затвореното нагнетяване се използва при скали с открити пукнатини със средни и големи размери или при карстови празнини, осигуряващи бързо поглъщане на инжектирания флуид, т.е. без да се връща в разтворобъркачката. При този начин организацията на работата е опростена и поглъщането на флуида се регулира с налягането на помпата. Циркуляционното нагнетяване се прави обикновено при финонапукани скали, когато е необходимо продължително инжектиране при постоянно налягане и съществуват условия за разслояване на флуида. Необходими са сондажи с по-голям диаметър (в сондажа се спуска тръба за разтвора), сложна оборудване и добра организация на работата. Полуциркуляционното нагнетяване се отличава от циркуляционното с отсъствие на циментационна тръба, а от затвореното – с наличие на обратен тръбопровод, така че то е опит за обединяване на преимуществата на двете схеми.

При инжектирането чрез пропиване имаме голям набор от материали, които можем да използваме. Изборът какъв точно материал да изберем се базира на едрината на зърната на инжектируемата почва (вж. фиг. 2).



**Фиг. 2. Проницаемост на различните суспензии с добавки към тях в зависимост от типа на почвата [1]**

За да бъде успешно едно инжектиране, е важно почвата да бъде инжектируема. Тя от своя страна се основава на пропускливостта на почвата. Оценката за пропускливостта и оттам за инжектируемостта се базира на съдържанието на определена големина частици в почвата (т.е процент частици, преминаващи през сито 200. На фиг. 3 и табл. 2 са показани границите на инжектируемост в зависимост от процента на преминаване.



**Фиг. 3. Разпределение на размера на частиците за инжектиране чрез пропиване [1]**

**Таблица 2. Граници на инжектируемост [1]**

Процент преминаващи през сито 200	Описание
< 12	Готово за инжектиране
12 ÷ 15	Средно инжектируемо
15 ÷ 20	Трудно инжектируемо
> 20	Неинжектируемо

Като заключение може да се добави, че почвите, подходящи за инжектиране чрез пропиване с разтвор за инжектиране от смес вода/с фини частици, са [4]:

- Съдържанието на частици (размер на зърното  $< 0,063 \text{ mm}$ ) не надвишават 5 – 7%;
- Отношението  $d_{15}/D_{85} = 20 \div 24$ ;
- Пропускливостта да е по-голяма от  $5 \cdot 10^{-7} \text{ m/s}$ ;
- Постигнатият модул на деформация да не надвишава 250 МРа.

Емпирично погледнато при този вид инжектиране на смес от вода с фини частици, очакваният обем на инжектираната смес е около 15 – 20% от целия обем на инжектираната област.

Уплътнително инжектиране на дисперсна почва (compaction grouting) – под голямо налягане (до 25 bars) в целия херметизиран сондаж се нагнетява гъста суспензия, която уплътнява околната почва. Тъй като уплътняването е по-голямо в зоните, където почвата е по-слаба, след втвърдяването на суспензията се получава колона с неравна повърхност, която чрез триенето с уплътнената около нея почва, увеличава носещата способност на основата.

Инжектиране чрез хидроразриви (hydrofracture grouting) – постига се чрез предизвикване на разриви в дисперсната почва или в пукнатините на скалата чрез нагнетяване на флуид под високо налягане. Прилага се за уплътняване и заздравяване на почвата, както и за запълване на пори и празнини, до които по друг начин не може да се достигне. При дисперсна почва се използва инжектиране с маншетни тръби (tube a manchette), при което хидроразривите настъпват по повърхнините на наслояване. При скалите хидроразривите предизвикват отваряне на пукнатините, последвано от тяхното уплътняване и заякчаване след втвърдяване на цимента (claquage grouting). Освен за заздравяване и уплътняване, методът се използва още за контролирано повдигане на съоръжения или на част от тях с цел избягване на неравномерно слягане.

Уравновесяващо инжектиране (compensation grouting) – прилага се някой от изброените по-горе инжекционни методи с цел да се укрепи масива от дисперсна почва между съществуващо на повърхността съоръжение и прокарван тунел (например галерия за метро), за да се избегнат премествания на почвата, които могат да засегнат това съоръжение.

### **3. Инжектиране под ниско налягане**

Инжектирането под ниско налягане представлява метод, при който заздравяващият композит се инжектира под ниско налягане и не се нарушава съществено естествената структура и обемът на почвата. Функцията му е да се запълнят празнини в скали и между земната основа и съществуващата вече конструкция да се увеличи плътността, да се повиши якостта, водопропускливостта и хомогенността на земната основа. С други думи да се увеличат физичните и якостните характеристики на формацията, където инжектираме заздравяващ материал (подобрител).

Използва се широк набор от свързващи вещества като циментово мляко, циментов разтвор, битум, глинест разтвор и други. Изборът на инжекционен флуид зависи от почвените условия и от задачата, която трябва да се реши. Ако се търси якост, най-подходяща е циментацията. Например грубозърнест несвързан седимент посредством инжектиране на цимент може да придобие якостта на бетона. Ако е необходимо да се постигне

само водонепроницаемост, може да се използва глинизация. Използването на дадени свързващи вещества се определя и от филтрационните свойства на почвите. При скорост на филтрацията над 1,1 – 2,0 cm/sec се използва циментов разтвор. По-скъпите композити на база лепила се използват при филтрации до 1,1 – 6 cm/sec. Почви с по-висока филтрация не са подходящи за заздравяване.



Фиг. 4. Схематична подялба на методите според структурната промяна на почвата (CIRIA, 1997)

### 3.1. Технология на инжектирането под ниско налягане [1, 5]

Инжектирането се осъществява в приспособени за целта сондажи, помпи, при които е автоматизирано регулирането на дебита и налягането с разтворобъркачки. Проникването на заздравяващия разтвор в порите на почвата и пукнатините на скалите се осъществява чрез различни технологични схеми в зависимост от инженерно-геоложките условия, дълбочината на инжектиране и от предназначението на инжекционните работи. Неговият ефект зависи от разпространението на нагнетяваните флуиди и от способността им да се втвърдяват или съгъзват с течение на времето.

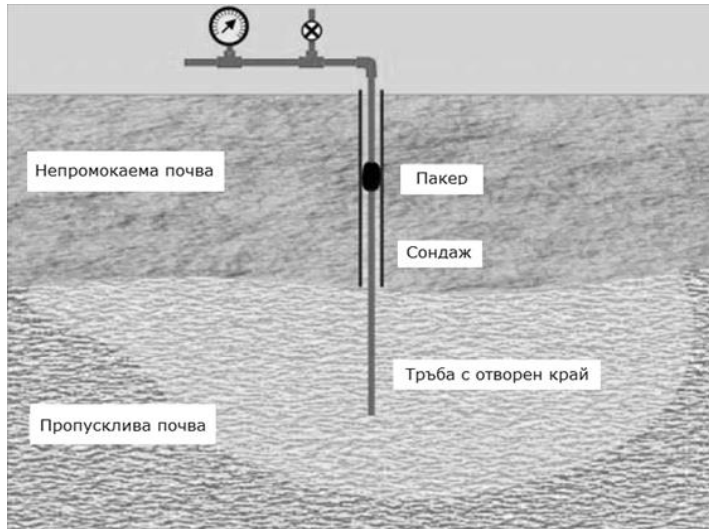
Успешният проект за инжектиране съдържа подробно геотехническо проучване, мониторинг по време на изграждане на конструкцията и потвърждение, че заздравяването покрива изискванията на бъдещите съоръжения. Геотехническото изследване на терена трябва да е по-детайлно от стандартното, за да може с точност да се знаят *in situ* ефектите и условията, които могат да повлияят на ефективността на инжектиране. Тези резултати се използват, за да може прецизно да се подбере метод за инжектиране и подходящи материали.

### 3.2. Методи на инжектиране под ниско налягане [5]

#### 3.2.1. Тръба с отворен край

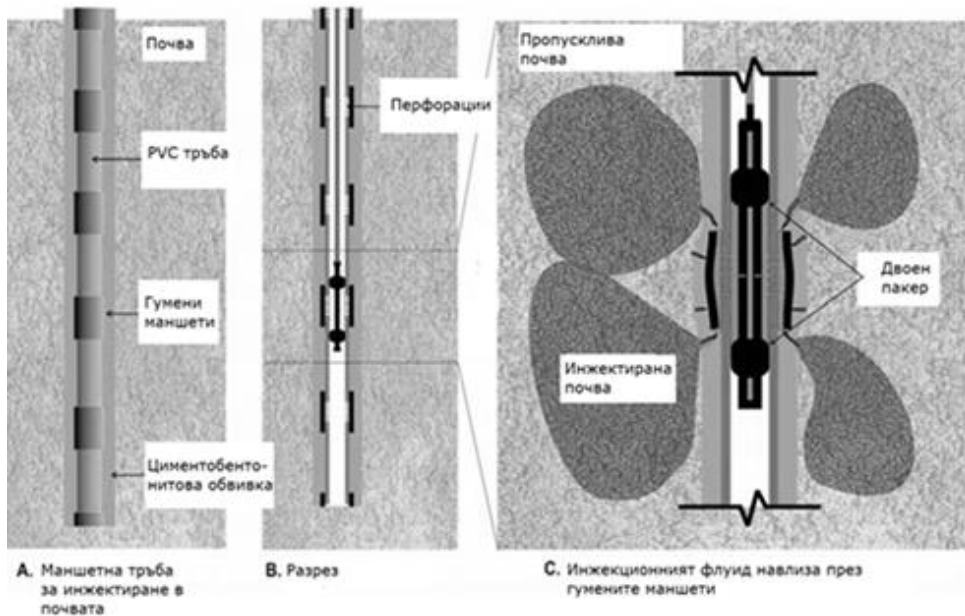
При инжектиране с тръба с отворен край пробивната глава-корона се използва за пробиване на отвор в земята. Когато тръбата е изцяло в земята, може да се инжектира под ниско налягане. За да се намали загубата на инжекционен разтвор по протежение на сондажа, диаметърът му не трябва да бъде много по-голям от диаметъра на тръбата, с изключение на допустимите отклонения при пробиване. Освен това при достигане на дълбочината, която целим, край на тръбата се закотвя в земята без въртеливо движение,

за да се осигури плътно опиране. При инжектиране при по-високи налягания се използва бързовтвърдяваща се смес, за да се предотврати изтичането ѝ. При необходимост може да се използва единичен пакер за затваряне на пространството между тръбата за инжектиране и сондажа, за да стане възможно инжектирането само след пакера. На фиг. 5 е показано инжектиране на смес по метода с отворен край на тръбата. Същата методика се използва за инжектиране с цел запълване на празнини.



Фиг. 5. Инжектиране по технология тръба с отворен край [6]

### 3.2.2. Тръба с маншети

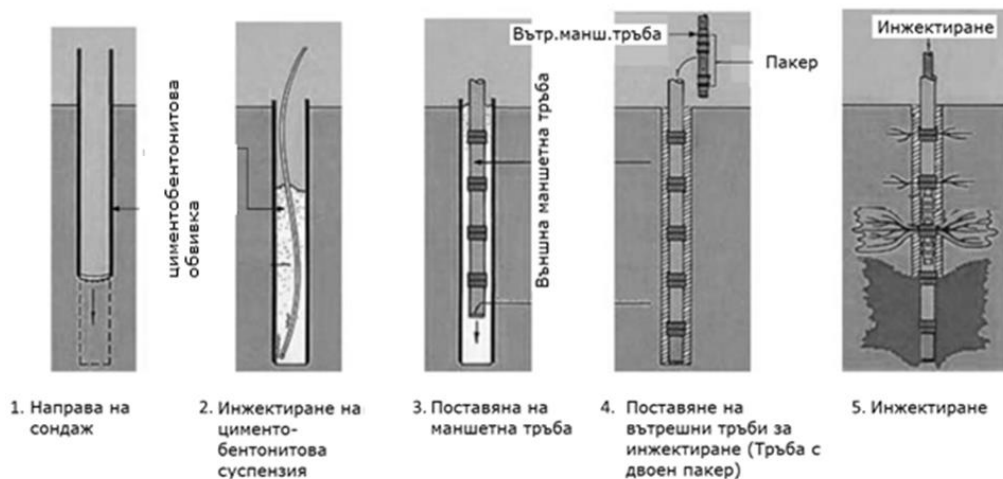


Фиг. 6. Инжектиране по технология тръба с маншети [6]



По цялата инжектирана дълбочина се прави сондаж. В сондажа се спуска метална или пластмасова тръба, която има отвори през определено разстояние, които са закрити с гумени маншети. Разстоянието между стените на сондажа и тръбата се запълва с циментобентонитов разтвор. Циментобентонитовата обвивка има за задача да попречи на инжектирания разтвор да прониква покрай тръбата, а да се насочва само в зоните, ограничени с маншети. При инжектирането перфорираните зони се ограничават с разширяващ се пакер (фиг. 6).

Процедурата по инжектиране (фиг. 7) с маншетна тръба включва следните основни видове работи: сондиране и спускане на инжекционните тръби (или забиване на тръбите), приготвяне на разтворите, нагнетяване и изваждане на инжекционните тръби, допълнителни работи. Контролът върху качеството на инжектирането се извършва с цел контрол върху физико-механичните свойства на инжектираните почви.



**Фиг. 7. Процедура по инжектиране чрез маншетна тръба с двоен пакер [7]**

Тук бяха обобщени всички методи за инжектиране в скала и почвено инжектиране. Представени са начините за инжектиране под ниско налягане с тръба с отворен край и тръба с маншет.

## ЛИТЕРАТУРА

1. SCDOT Geotechnical design manual. Ground improvement, 2010.
2. Георгиев, Л. Тунели. 2004.
3. Тоцев, А. Почвени анкери. 2019.
4. Austrian society for geomechanica, Expert Comments to EN 12715, Grouting.
5. Raison, A. Ground and soil improvement. 2004.
6. Ganeshan, V., Chun, OW. et al. Grouting and its application in tunneling. 2008.
7. Kuo, C., Lin, Y. et al. Case study of using the low-pressure grouting method to uplift a tilted building. 2007 – 2009.

# GROUND IMPROVEMENT USING LOW PRESSURE INJECTING METHOD

**M. Ruseva<sup>1</sup>**

*Keywords: ground improvement, injecting, low pressure, open-end-tube grouting, tube-a-manchette grouting (TAM)*

## ABSTRACT

Ground improvement under existing foundations is one of the major problems of modern geotechnical engineering. A number of factors can cause damage to buildings and facilities of high public importance, often solved only by improving the properties of the soil by injecting in high or low pressure grout materials. Another area where grouting is widely used is tunnel construction. The paper presents the basic principles and methods for low pressure injection. The advantages and disadvantages of these are discussed as well as their fields of application.

---

<sup>1</sup> Mariya Ruseva, Eng., Dept. "Geotechnics", UACEG, 1 H. Smirnenski Blvd., Sofia 1046, e-mail: ruseva\_m@yahoo.com