



*Получена: 31.05.2019 г.*

*Приета: 01.07.2019 г.*

## ЦИМЕНТОВИ РАЗТВОРИ ПРИ ЗАЗДРАВЯВАНЕ НА ЗЕМНАТА ОСНОВА

М. Русева<sup>1</sup>, А. Тоцев<sup>2</sup>

*Ключови думи: инжектиране, цимент, циментови разтвори*

### РЕЗЮМЕ

Инжектирането на разтвори в почвата подобрява носещата способност, ограничава деформациите и намалява значително водопропускливостта ѝ. В инженерната практика съществуват редица методи за инжектиране с високо или ниско налягане, при това с различни разтвори като смоли, глини, битуми, цименти и др. В настоящата статия са представени основните изисквания и свойства на циментовите разтвори, влияещи върху инжектирането за заздравяване на земната основа.

### 1. Инжекционни разтвори

Инжекционните разтвори се състоят от основа и разтворител – най-често вода. За основа се използват различни свързващи вещества – твърди или течни, които във водна среда и в присъствие на катализатор могат да се втвърдяват и да спояват разнородни материали в здрав монолит. Свързващите вещества са главно три вида: хидратиращи (цимент), коагулиращи (глина) и полимеризиращи (неорганични и органични полимери). От тях могат да се получат два основни типа инжекционни разтвори: суспензии и химични разтвори [1].

Ефективността на инжектирането зависи от правилния подбор на разтворите, които могат да се обединят в две групи. Към първата принадлежат тези, които предизвикват

---

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

<sup>2</sup> Андрей Тоцев, доц. д-р инж., кат. „Геотехника”, УАСГ, бул. „Хр. Смирненски“ № 1, 1046 София, e-mail: atocev@gmail.com

бързо протичане на процесите в системата почва–разтвор, подобряват значително якостта и водонепропускливостта на почвата. Прилагането им в строителната практика е известно като циментизация, силикатизация и смолизация. Разтворите от втората група се използват главно за намаляване на водопрпускливостта на земната (скалната) основа и не променят съществено нейната носеща способност. Използват се предимно глиносиликатни и силикатни тампонажни разтвори

Поставят се редица изисквания по отношение на инжекционните разтвори:

- да са достатъчно подвижни и финозърнести, за да могат да проникнат на по-голяма дълбочина в пукнатините и порите. Това означава тяхната способност да проникват леко на по-големи разстояния в по-фините пукнатини. Това качество зависи предимно от фиността и от структурния вискозитет на разтвора и е прието да се определя по времето за изтичане на определен обем разтвор от отвор с нормиран диаметър или по размера на разстилането му върху стъклена плочка;
- да запазват своята хомогенност по време на нагнетяването и свързването, т.е. да се стабилизират срещу разслояване. Като мярка за стабилност на разтвора се използва степента на разслояване след определено време. Всички уреди за установяване на този показател са устроени на принципа на утаяването. Стабилитетът на инжекционните разтвори зависи от водозадържащата способност на цимента, т.е. в способността му да образува с водата такива суспензии или колоидални разтвори, при които водата не се отделя от циментните зърна при никакви външни влияния. Тя е толкова по-голяма, колкото по-финозърнест е той. Нормално на дадена относителна повърхност съответства определено количество вода, което може да се задържи от циментните зърна. В замяна на това обаче те се оказват незапълнени изцяло от циментен камък. Подвижността и стабилитетът на циментните инжекционни разтвори се подобряват чрез изкуственото им активиране, което се заключава в намаляване на размера на циментовите зърна и на степента на тяхната флукация, в разбиването на въздушната обвивка около тях и улесняването на хидратацията. Активацията се постига по химичен, физичен и механичен начин. При първия се използват химични вещества, най-често патентовани препарати, като Sika Injektol. При физичната активация се използват ултразвукови вълни или загряване на водата до 20 – 25° и пр. Най-голямо приложение намира засега механичната активация чрез бързооборотни бъркачки, в които се постига допълнително раздробяване на циментовите зърна и разтворът се превръща в колоиден. Преминавайки в състояние на гел, той може да задържа произволно количество вода. Активираниите разтвори притежават обикновено повишени якостни качества наред със значителна подвижност и стабилност. Тези свойства от своя страна определят инжектируемостта на разтвора. В някои случаи тя може да се подобри чрез добавка на бентонитни глинни за сметка на известно намаляване на якостните качества на циментния камък. Оптималната инжектируемост за даден разтвор се явява резултат от най-подходящото съчетание на подвижността и стабилността при спазване на определено време на свързване, якостни показатели и водоплътност, без да се прекрачва границата на икономичността. Този подбор на разтворите може да се постигне чрез проектиране на графици за изменението на вискозитета и водоотделянето им при техни различни съставки;

- при наличието на подземни води да могат да се втвърдяват и във водна среда, като придобиват определена якост и водоплътност.

Тези изисквания трудно могат да бъдат задоволени. По тази причина за всяка подлежаща на инжектиране среда трябва да се подбере най-подходящият разтвор, като се търси известен компромис между техническите и икономическите изисквания. Всичко това е наложило използването на инжекционни разтвори с твърде различен състав и специфични качества. Един доста голям диапазон в инжекционната техника може да бъде покрит от циментно-пясъчните, циментните и циментно-глинените разтвори, които с помощта на различна обработка и добавки на химични вещества могат да получат в зависимост от съотношението на основните им съставки твърде разнообразни качества. За по-специални случаи се прилагат битумни и силикатни разтвори, а в последно време и органични синтетични смоли.

От значение за работата с инжекционните разтвори са тяхната обемна маса, якост на натиск, опън и срязване, определяни по съответните методи, познати от изпитването на материалите.

## 2. Свойства на цимента

Както е известно, портландциментът е съставен от 4 основни минерала: трикалциев силикат ( $C_3S$ ), двукалциев силикат ( $C_2S$ ), трикалциев алуминат ( $C_3A$ ) и тетракалциев алумоферит ( $C_4AF$ ). При всички технологични схеми тези минерали взаимодействат с водата, в резултат на което се получават хидрати, които се втвърдяват с течение на времето. При хидратацията се формират главно калциеви хидросиликати ( $C-S-H$ ) и хидроалуминати ( $C-A-H$ ). При заздравяването с ХСВ калциевите хидросиликати имат по-голямо значение за якостта, отколкото калциевите хидроалуминати. При нормална температура и налягане, т.е. при най-често срещаните случаи на заздравяване на повърхността и в дълбочина,  $C-S-H$  са в гелообразна форма и затова тяхното изучаване е много трудно. В морфоложката класификация на Diamond (1976),  $C-S-H$  се делят на 4 типа:

- Първи тип  $C-S-H$  игловидни;
- Втори тип  $C-S-H$  мрежоподобни или като пчелна пита;
- Трети тип  $C-S-H$  гелоподобни (заоблени и сплескани частици, по-малко от 1  $\mu m$ );
- Четвърти тип  $C-S-H$ , представляващ вътрешен продукт на клинкерната частица.

При заздравяването на почвите общо взето тип 1 възниква в ранните, а тип 2 и 3 – в по-късните срокове. С течение на времето  $C-S-H$  в заздравената почва претърпява сложни фазови превръщания, които имат съществено значение за крайната якост.

Резултатите за втвърдяването на портландцимента са получени предимно с чисти циментови пасти. Наличието на минерални добавки и на химични реагенти усложнява извънредно много изследванията.

Ефектът от заздравяването [2] освен от хидратацията и втвърдяването на цимента зависи в значителна степен и от адхезията му с минералната повърхност. Първоначално гелът обвива тази повърхност, след което между тях започват да възникват структурни връзки. Силата на адхезията се определя от кристалохимическия състав на най-външните слоеве на повърхността на минералите от формата на частиците (при дисперсните

почви) и от чистотата на повърхността на пукнатините и на частиците. Щом гелът и минералната повърхност влязат в плътен контакт, възникналите между тях връзки намаляват неуравновесеността и поляризацията на силите в най-външните минерални слоеве, което има за резултат повишаване на адхезионното сцепление. Адхезията е най-голяма при скали и дисперсни почви, в които преобладават кварц и фелдшпатите, реагиращи с циментовия гел особено когато са във финодисперсно състояние. При базалта сцеплението с цимент е по-добро в сравнение с карбонатните скали. При тях най-здравата е връзката с мраморите, при които възниква епитаксичен калцит, а при използването на алуминиеви цименти се образуват и карбоалуминати.

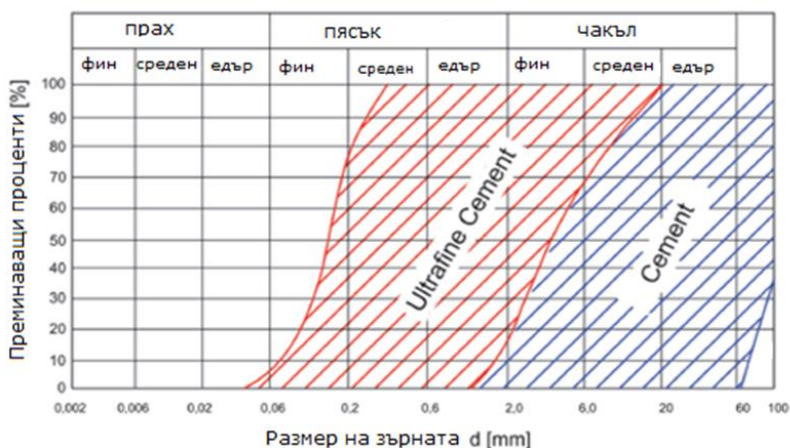
Както беше казано, при хидратацията на алита ( $C_3S$  – най-важната съставка на портландцимента) се получават калциеви хидросиликати и се отделя свободна вар. В резултат на това рН на поровия разтвор се увеличава значително (до 13,5 при по-големи количества цимент) и задържа високата си стойност дълго време. По този начин течната фаза, която при обикновените почви има неутрална, слабокисела или слабоалкална реакция, се превръща в силноалкална среда.

По-голямо значение за якостта имат калциевите хидросиликати  $C-S-H$ , които по състав и структура наподобяват аналогичните фази, възникващи при хидратацията на цимента.

Общо взето пуцолановите реакции са бавни. Според едни автори те започват няколко дни след смесване на ХСВ с почвата. Според други автори те имат осезателен принос за якостта след 10 – 12 седмици. Пуцолановите реакции могат да продължават с години и техният интензитет зависи от дисперсността и химико-минералния състав на почвата и от количеството на свързващото вещество.

### 3. Видове цименти [3, 4]

В геотехниката и в частност за инжектиране се използват две категории цимент: портландцимент и ултрафин цимент. Границите на инжектируемост на различни суспензии в зависимост от размера на зърната класически се определят от тъй наречения пресевен анализ на почвата. На фиг. 1 са показани три зони на възможно приложение.



Фиг. 1. Приложение за разпределение на цимент според пресевен анализ на почвата, Leitner 2016 [29]

Въпреки това се произвеждат различни видове цимент, за да могат да отговорят на различните физични, химични изисквания и специални цели. ASTM C150, Standart Specification for Portland Cement ни предлага 8 типа потландцимент. За нуждите на инжектирането се използват само Тип I, II и III. Асоциацията за портландцимент в публикация Design and Control of Concrete Mixture (Kosmatka and Panarese, 1988) ни дава следните дефиниции за портланд цимент Тип I, II и III [5].

Тип I портландцимент е създаден за всякакви нужди, където няма поставени специални изисквания към цимента. Използва се за бетон, където нямаме излагане на агресивна среда, както и сулфатна атака в почвата или водата, или повишаване на температурата до степен дехидратация на сместа. Използва се за настилки, етажни плочи, армирани сгради, мостове, железопътни съоръжения, резервоари, подземни съоръжения и други предварително изготвени бетонни елементи.

Тип II е портландцимент, който се използва, когато има специални изисквания за средна защита от сулфатна агресивна среда като например дренажни конструкции. При тях сулфатната концентрация в подземните води е по-висока от нормалното, но не и нетипично висока. При свързване Тип II генерира топлина по-малко и по-бавно от Тип I. Подходящ за тежки конструкции със значителни размери и маса като например подпорни стени. Използва се също, за да редуцира покачването на температурата, което е особено важно, когато бетонът е положен в топло време. Въпреки това добавянето на пепел към бетона може да предпази от сулфатна атака и да се използва вместо портландцимент Тип II.

Тип III е портландцимент, който осигурява висока якост в ранния период до седмица или по-малко от полагаването. Той е химично и физично подобен на тип I, но неговите частици са по-фини. Използва се, когато е необходимо да се махне кофража възможно най-бързо или когато конструкцията влиза в експлоатация възможно най-скоро. Също така в студено време, когато се изисква намаляване на текущия период за зреене. Въпреки че смеси от Тип I също могат да достигнат бързо якост, Тип III осигурява по-задоволителни и икономични резултати.

Според стандарта за цименти EN 197-1 се класифицират по якост на натиск по следния начин (табл. 1).

**Таблица 1. Якост на натиск на цименти: EN 197 – 1 [4]**

Клас на якост	Якост на натиск			
	2 дни	7 дни	нормална якост 28 дни	
32,5N	–	≥ 16,0	≥ 32,5	≤ 52,5
32,5R	≥ 10,0	≥ 16,0		
42,5N	≥ 10,0	–	≥ 42,5	≥ 42,5
42,5R	≥ 20,0	–		
52,5N	≥ 20,0	–	≥ 52,5	≥ 52,5
52,5R	≥ 30,0	–		

N – нормално свързващ; R – бързо свързващ

**Таблица 2. Видове цименти, произведени в България [1]**

Наименование	Марка	Якост на опън, МРа	Нормална якост 28 дни
Портландцимент (ПЦ)	35; 45; 55;	5,5; 6,5; 7,5;	27 – 74
Пуцеланов ПЦ	25; 35;	4,0; 3,5;	
Шлакопортландцимент (ШПЦ)	25; 35;	5,5; 6,5; 7,5;	
Бързотвърдяващ се ПЦ	45;	6,5;	7390 – 76
Нискотермичен цимент (НТЦ)	25; 35;	–	7390 – 76
Сулфатостойчив ПЦ	25; 35; 45;	–	7267 – 77
Киселиноустойчив с Na <sub>2</sub> SiF <sub>6</sub>	–	–	4604 – 73

Физико-механичните свойства на цимента, предвиден за инжекционния разтвор, трябва да бъдат проверени в лаборатория независимо от заводския паспорт. Не се разрешава смесване на различни марки цимент. Марката на цимента се избира с оглед на необходимата якост на циментовия камък, режима на подземните води и степента на тяхната агресивност. В табл. 3 са дадени често използваните добавки при инжекционен разтвор.

**Таблица 3. Често използвани добавки за инжекционен разтвор [6]**

Добавка	Химикал	Дозировка (процент от теглото на цимента)
Ускорител	Калциев хлорид	1 ÷ 2
Забавител	Калциев лигносулфонат	0,2 ÷ 0,5
	Винена киселина Захар	0,1 ÷ 0,5
Втечнител	Калциев лигносулфонат	0,2 ÷ 0,3
	Детергент	0,5
Разширител	Алуминиев прах	0,005 ÷ 0,02

Водата на разтвора трябва да отговаря на техническите изисквания за приготвяне на бетон. Приготвянето на циментовата суспензия става на място, като се спазват точно рецептурата и технологията, дадени в проекта. В зависимост от времевързването циментите биват бързосвързващи (15 – 20 min), нормалносвързващи (1 – 2 часа) и бавносвързващи (3 – 12 часа) [1].

#### 4. Циментови разтвори [5, 7]

Материалите за инжектиране се разделят в четири категории, според състава си [24]. Категория 1 включва циментови разтвори от смеси от вода и отделни частици от някакъв материал, който може да е цимент, пепел, глина или пясък.

Тези смеси са стабилни и имат кохезия и пластична вискозност, която нараства с времето. Отнасяйки се към техните основни характеристики и относителна икономичност, тази категория материали за инжектиране е най-често употребяваната. Използват

се както за водонепроницаемост, така и за подобряване на здравината на земната основа. Отношението на водата към количеството на твърдите частици е главното определящо техните свойства и основни характеристики като стабилност, еластичност, вискозитет, водно съдържание и устойчивост на експлоатация.

Основно изискване по отношение на цимента, предназначен за инжекционни работи, е фиността и еднородността на смилане. Обикновено колкото по-висока е марката му, толкова е изпълнено това изискване. Фиността и нееднородността на смилане се определят през сита с размер на дупката 0,23 и 0,09 mm. За нормални инжекционни цименти се препоръчва на първо сито да няма остатък повече от 1 – 2%, а върху второто не повече от 70 – 90% от масата на пресявания цимент.

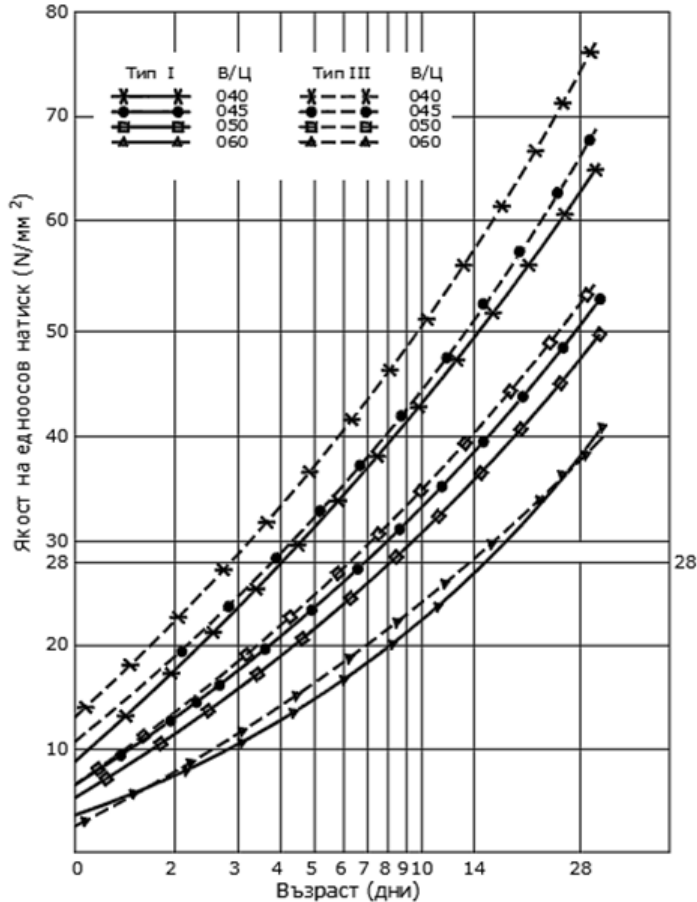
Като показател за фиността на смилане служи и специфичната повърхност на цимента, която представлява сумарната повърхност на всички циментни зърна в 1 g от него. Колкото по-голям е този показател, толкова по-финозърнест е циментът. Нормално специфичната повърхност се движи между 2000 и 3000 cm<sup>2</sup>/g. От размера на циментните частици зависи възможността за проникване на разтвора в пукнатините. Като груба преценка може да се приеме, че в зависимост от качествата на инжекционния разтвор и размера на налягането, максималната едрина на циментното зърно не трябва да надвишава 0,25 до 0,40 пъти минималния отвор на пукнатините. Практически това означава, че с обичайните цименти могат да се запълват пори с размер, по-голям от 0,4 – 0,5 mm. Еднородността на смилането означава, че те трябва да се състоят от частици с близка едрина. В противен случай при движението на разтвора се получава разслояване и по-едриите частици попадат надолу, а по-фините отгоре, което води до нееднородни якостни качества на втвърдения разтвор. За увеличаване на проникваемостта на разтвора се използват микроциментите. Основните съставки на циментните инжекционни разтвори са цимент и вода в определено съотношение по маса, определяно с водоциментния фактор В/Ц. Този показател се движи от 10 до към 0,4, рядко до 0,35. Времето за свързване на инжекционния разтвор зависи от вида на цимента и може да се регулира чрез добавки. Нормално при портладциментите началото на свързване започва след 1 – 4 часа, а краят на този процес настъпва след 4 – 12 часа. Това качество на разтворите е от значение за допустимата продължителност на инжектиране, тъй като подлагането на разтвора на механични въздействия след свързването му води до нарушаване на този процес и до загубване на якостните качества на циментния камък [1].

Необходимата консистенция на циментните разтвори се определя преди всичко от размера на относителното водопоглъщане (табл. 4).

**Таблица 4. Състав на циментните разтвори в зависимост от относителното водопоглъщане [7]**

Относително водопоглъщане, dm <sup>3</sup> /min	Състав на разтвори по маса цимент : пясък : вода	Плътност на разтвора, g/cm <sup>3</sup>
0,001 ÷ 0,01	1/0/12	1,052
0,01 ÷ 0,1	1/0/10	1,064
0,1 ÷ 0,5	1/0/8	1,080
0,5 ÷ 1,0	1/0/6	1,106
1,0 ÷ 2,0	1/0/4	1,156
2,0 ÷ 5,0	1/0/2 или 1/1/2	1,290
5,0	1/1/1,5	–

Якостта на натиск на циментов разтвор е до голяма степен функция от водоциментовото отношение. Показана е зависимост на Littlejohn [6] между якостта на едноосов натиск, възрастта на циментовия разтвор и водоциментовия фактор (фиг. 2). Вижда се, че при  $V/C = 0,6$  двете криви за цимент тип I и III почти съвпадат.



Фиг. 2. Нарастване на якостта на едноосов натиск на циментовия разтвор с времето в зависимост от водоциментовия фактор [6]

При циментизация в земна основа на еднозърнести пясъци, чакъли и напукани скали се инжектират циментово мляко или циментопясъчни разтвори според големината на порите на пясъците и размера пукнатините в скалите. Използват се инжектори, както при силикатизацията. При заздравяване на земна основа инжекторите се забиват шахматно на разстояние 1 – 3 m един от друг. В скали, инжекторите се монтират в предварително направени сондажни отвори. Преди циментизацията с инжектори се подава вода под налягане за промиване на порите на пясъците и пукнатините в скалите. При промиването се отстраняват фини и по-едри частици, които биха затруднили проникването на циментните разтвори. След промиването циментното мляко и циментно-пясъчните разтвори се инжектират под налягане 5 – 7 bar.



## 5. Инжектируемост на циментни разтвори [1, 3, 5, 8]

Проникването на циментова суспензия в пукнатини или свързани помежду си пори зависи от техните геометрични и морфологични особености, от типа на цимента и от режима на инжектиране. Установено е, че за да се извърши успешно инжектиране на суспензия, трябва да се спазва следното условие (N-criterion), което всъщност ни показва податливостта на почвата към инжектиране (табл. 5).

$$d_{15}/D_{85} = \Psi;$$

$$d_{10}/D_{95} = \Theta,$$

където  $d$  и  $D$  са съответно диаметрите на минералните зърна на почвата и на циментовите частици, по-малките от които съставляват 10% и 15% от масата на почвата и 85% и 95% от масата на цимента.

Отношенията на N-criterion помага да се оцени самата инжектируемост на земната основа и се базира на емпирични формули, свързани с филтрацията [29].

За напукани скали е необходимо да се знае средната широчина (отвореност)  $s$  на пукнатините:

$$s/D_{85} > 5.$$

**Таблица 5. Указания за потенциала на инжектиране [3]**

Инжектируемост	$\Psi$	$\Theta$
Невъзможно	$< 11$	$< 6$
Възможно	$11 \div 24$	$6 \div 11$
Лесно	$> 24$	$> 11$

**Таблица 6. Различни цименти и размерите на техните зърната при 85% [4]**

СЕМ I 32.5	$D_{85} = 0,043$
СЕМ I 42.5	$D_{85} = 0,025$
СЕМ I 52.5	$D_{85} = 0,020$
Ултрафин	$D_{85} < 0,016$ , наличен до 0,006 mm

Доказано е, че коефициентът на филтрация  $k$  на дисперсните почви е по-надежден критерий при проектиране на циментационни работи:

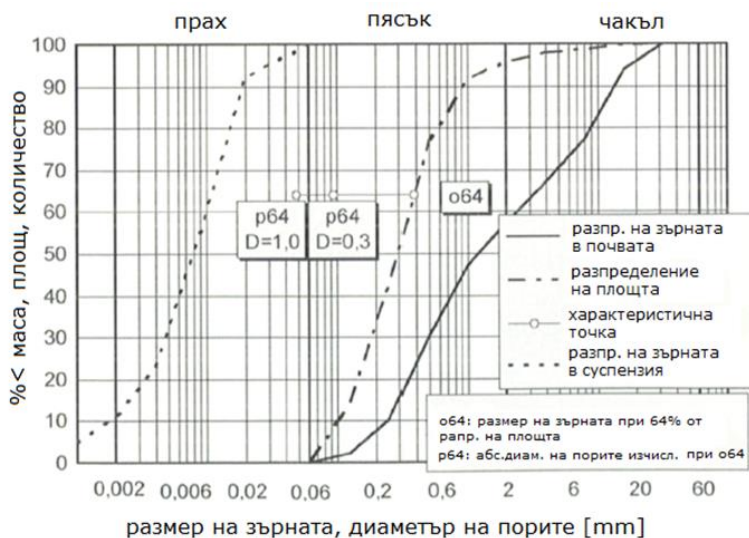
$$D_{cp} \leq c \sqrt{k},$$

където  $D_{cp}$  е диаметърът на циментовите частици, съставляващи 50% от масата на цимента;

$c$  – константа.

За по-прецизни сметки на инжектируемостта може да се използва процедурата за ширина на порите (фиг. 3). Този подход е формулиран от Schulze, 1993 и доразработен от Schuler and Brauns, 2000. Използвайки модел с пори, стигаме до извода, че ефектив-

ният диаметър на порите (pore throat diameters) на почвата е свързан с инжектируемостта на почвата. Този модел се използва, за да доусъвършенства горния метод и за да завърши разпределението на размера на зърната и плътността на почвата, водейки ни към много прецизен и реалистичен подход [29].



Фиг. 3. Разпределение на порите (Schuler and Brauns, 2000) [4]

Важен показател, свързан с инжектируемостта на циментови разтвори, е относителното водопоглъщане. То се определя чрез опитно водонагнетяване в сондажни дупки, като се измерва погълнатата вода при определен напор. Този показател представлява водното количество  $q$ , което поглъща 1 m от сондажната дупка при налягане от 1 m воден стълб.

$$q = \frac{Q}{Hl}, \text{ dm}^3/\text{min.m},$$

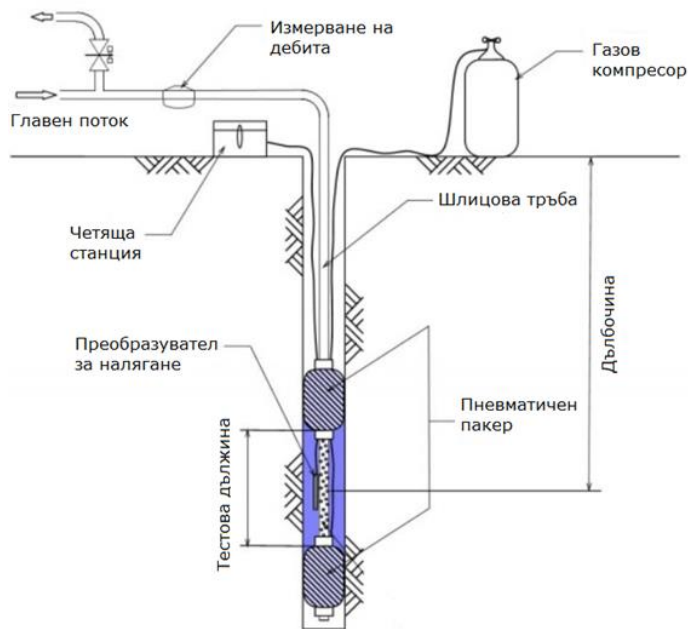
където  $Q$  е общото количество вода в  $\text{dm}^3/\text{m}$ , подадено в сондажната дупка;

$l$  – дължина [m];

$H$  – при налягане воден стълб [m].

Относителното водопоглъщане е показател не само за инжектируемостта, но и за качеството на извършените инжекционни работи. Постигнатата му стойност, установена в контролни сондажи след приключване на инжектирането и сравнена със зададеното в проекта относително водопоглъщане, дава представа за полученото уплътняване. Ако този показател се окаже под залегналия в проекта, определен въз основа на стопанските филтрации от подземния изкоп при напукана облицовка, инжектирането продължава чрез постепенно сближаване на сондажните дупки. Постигнатата якост на натиск и опън се определя по ядките от контролни сондажи, които освен това дават възможност да се проследи начинът и степента на проникване на разтвора в пукнатините. Подобриенето на деформационните показатели вследствие на инжекционните работи може да се установи в същите контролни сондажи с помощта на пресиометър или ултразвуково или сеизмично измерване.

Тестът Lugeon, понякога наричан също и пакер тест, е метод за изпитване, широко използван за оценка на средна хидравлична проводимост на скална маса. Извършва се чрез измерване на обема на водата, взета в част от тестовата дупка, когато участъкът е под налягане 10 bar. Тестът е кръстен на Морис Луджън (1933 г.), швейцарски геолог, който пръв формулира теста. По принцип тестът на Lugeon е тест за проникваемост, проведен в изолирана част от сондаж. Изпитването се провежда в част от сондаж, изолиран от пневматични пакери. Изпитването се провежда на пет етапа, включително увеличаване и намаляване на налягането между нула и максимално налягане. На всеки етап се прилага постоянно налягане за интервал от 10 минути, докато се изпомпва вода. На фиг. 4 е показан схематично тестът.



**Фиг. 4. Тест за хидравлична проводимост**

Ако се използват средните стойности на водно налягане и дебит, измерени на всеки етап, може да се определи средната хидравлична проводимост на скалната маса. След първоначално емпиричното определение на изпитването, хидравличната проводимост се усилва по отношение на Lugeon Unit, като 1 lugeon е равен на 1 литър вода, поет от 1 метър от тестовия сондаж, за минута, под 10 bar налягане. Следователно стойността на Lugeon за всеки тест се изчислява по следния начин и след това се избира средна представителна стойност за тестваната скална маса.

$$\text{Коефициент Lugeon} = (q/L) \cdot (P_0/P),$$

където  $q$  е дебит [lit/min];

$L$  – дължина на тестовия интервал [m];

$P_0$  – референтно налягане от 1 MPa [MPa];

$P$  – тестово налягане [MPa].

Типичният диапазон на стойностите на Lugeon и съответното състояние на скалата е посочен на табл. 7.

**Таблица 7. Диапазон от стойности Lugeon, отговарящи на състоянието на скалата**

<b>Lugeon коефициент</b>	<b>Класификация по проводимост</b>	<b>Състояние на пукнатините на скалата</b>
< 1	много ниска	много тесни
от 1 до 5	ниска	тесни
от 5 до 15	умерена	няколко частично отворени
от 15 до 50	средна	няколко отворени
от 50 до 100	висока	много отворени
> 100	много висока	близо разположени отвори и празнини

Изборът на инжекционен разтвор е от съществено значение при инжектиране на земната основа. Тук бяха представени основните характеристики на циментовите разтвори за инжектиране. Те заедно с разтворите от глини, битуми и смоли са сред най-широко използваните. Представените свойства на разтворите за инжектиране като цяло и конкретно на циментовите, включително свойства и видове цименти, състав на циментовите разтвори, якост и инжектируемост на циментови разтвори систематизират натрупания световен опит по проблема.

### ЛИТЕРАТУРА

1. *Стефанов, Г.* Наръчник по земна механика и фундиране. Том 1, 1989.
2. *Евстатиев, Д., Ангелова, Р.* Циментация на скали и дисперсни почви. 1993.
3. *Ganeshan, V., Chun, OW. et al.* Grouting and its application in tunneling. 2008.
4. *Austrian society for geomechanica.* Expert Comments to EN 12715, Grouting.
5. *Telford, T.* AUA Guidelines for Backfilling and Contact Grouting of Tunnels and Shafts. 2002.
6. *Xanthakos, P.* Ground anchors and anchored structures. 1991.
7. *Георгиев, Л.* Тунели. 2004.
8. *TM 5-818-6, AFM 88-32.* Grouting methods and equipment. 1970.

# GROUND IMPROVEMENT WITH CEMENT-BASED SUSPENSIONS

M. Ruseva<sup>1</sup>, A. Totsev<sup>2</sup>

*Keywords: injecting, cement, cement suspensions*

## ABSTRACT

Injecting grout materials into the soil improves bearing capacity, reduces deformation and significantly reduces water permeability. In engineering, there are a number of high- or low-pressure grouting methods, with various solutions such as resins, clays, bitumen, cement, etc. The paper presents the basic requirements and properties of cement grout affecting injection for ground improvement.

---

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

<sup>2</sup> Andrey Totsev, Assoc. Prof. Dr. Eng., Dept. "Geotechnics", UACEG, 1 H. Smirnenski Blvd., Sofia 1046, e-mail: atocev@gmail.com