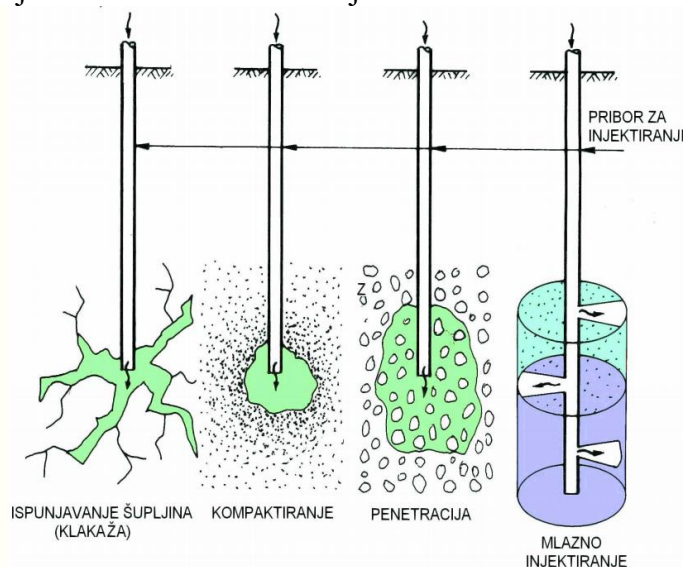


Поглавље 5 – Млазно ињектирање (*jet-grouting*)

5.1. Увод

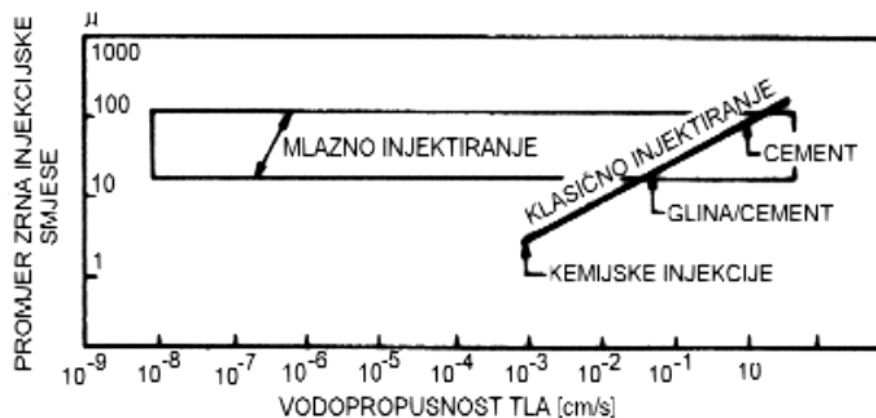
На доњој слици су приказане врсте ињектирања у тлу: испуњавање шупљина, пенетрационо, компакционо и млазно ињектирање.

Испуњавање шупљина гдје се ињекцијска смјеша (најчешће на бази цемента) утискује у празне просторе у тлу/стијени. Посебан тип овог ињектирања обухвата утискивање ињекционе смјеше у тло под високим притиском што узрокује хидраулички лом тла. Насталу пукотину испуњава ињекцијска смјеша а околно тло се збија.



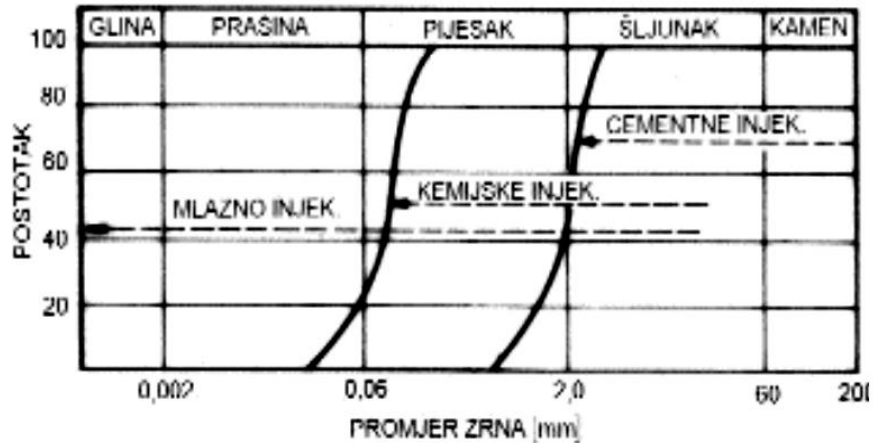
Слика 5.1: Врсте ињектирања тла

Код **пенетрационог ињектирања** ињекциона смјеша се утискује у тло под релативно ниским притиском, тако да не долази до промјене запремине и структуре тла. Ињекцијске смјеше су различитог састава и карактеристика, што зависи од водопропусности тла. Цементне смјеше се користе за $k > 10^{-2}$ cm/s, силикатне за $k = 10^{-2}$ до 10^{-4} cm/s, резорцинске смоле за $k = 10^{-4}$ до 10^{-6} cm/s). Код слабије пропусног тла генерално ова метода није примјењива. На доњој слици је дата примјењивост различитих техника ињектирањ у односу на водопропусност.



Слика 5.2: Примјењивост ињекционих смјеша у односу на водопропусност (Welsh 1986)

Млазно ињектирање. Технологија млазног ињектирања заснива се на хидрауличким слому тла под дејством високог притиска ињекционе масе. Разара се структура тла па долази до мијешања тла са везивним средством при чему настаје маса побољшаног тла тзв. *soilcrete*. Употребљава се за све врсте тла као што је приказано на доњој слици.



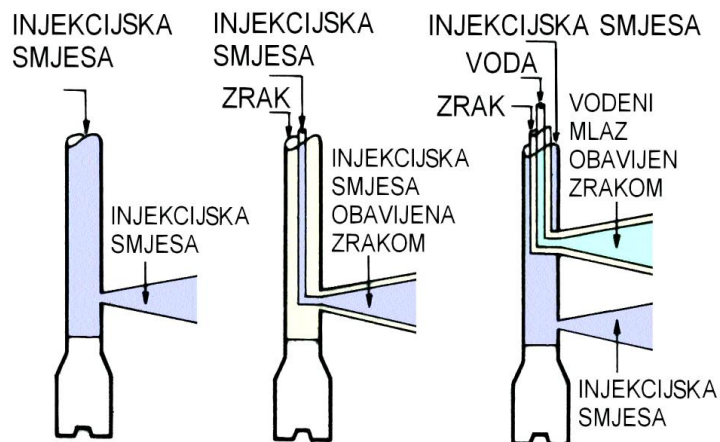
Слика 5.3: Примјенљивост ињекционих маса у односу на пречник зрна (Welsh 1986)

5.2. Технологија млазног ињектирања

Користе се притисци од 30-70 МПа уз утискивање масе у тло брзином од 250-330 m/s. Рад са великим притиском може довести издизања површине терена уз велико повећање порног притиска. Ово се дешава када се пут ињекционе масе од млазнице до терена дјелимично или потпуно затвори (код меких глина). Тада треба прекинути са ињектирањем. Дубина ињектирања је најчешће до 50м.

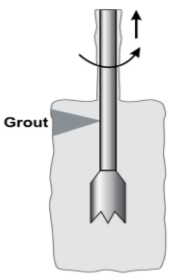
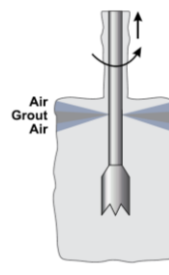
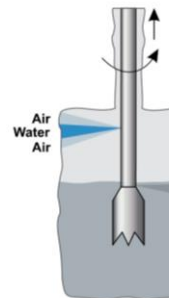
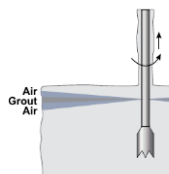
Постоје три основна поступка млазног ињектирања:

- једнофлуидни систем (само ињекциона маса)
- двофлуидни ситем (ињекциона маса+ваздух)
- трофлуидни систем (ињекциона маса+ваздух+вода)



Слика 5.4: Три поступка млазног ињектирања

Табела 1 – Преглед типова млазног ињектирања

	<p>Single Fluid Jet Grouting Ињекциона маса се утискује кроз шипку и излази из млазница великом брзином (200м/сек). Ово изазива ерозију тла и утискивање ињекционе масе у тло и њено мијешање са тлом. У шљунковитом тлу је могуће формирати шипове од стабилизованог тла пречника од 0.60 до 1.20м. У растреситом прашинастом и пјесковитом тлу могуће је постићи веће дијаметре. Метода није ефективна за кохерентна тла. Систем је једноставан међутим постижу се најмањи пречници. Тешко је контролисати издизање терена.</p>
	<p>Double Fluid Jet Grouting Кроз бушаћу шипку су спроведени посебни водови за спровођење ињекционе масе и ваздуха према различитим концентричним млазницама. Ињекциона маса се користи за еродирање тла и мијешање са тлом. Ваздух обавија млазницу ињекционе масе и повећава ефикасност разарања тла. Пречници шипова од више од једног метра могу бити постигнути у средње збијеном а више од 1.8м у растреситом тлу. Двофлуидни систем је ефикаснији у кохезивном тлу од једнофлуидног. Ово је најчешће коришћени и најекономичнији систем. Обично се не користи за подупирање темеља.</p>
	<p>Triple Fluid Jet Grouting Ињекциона маса, вода и ваздух се пумпају кроз посебне водове до монитора. Млаз воде обавијен ваздухом великом брзином излази из ерозионе млазнице и разара тло. Ињекциона маса излази мањом брзином из посебне млазнице смјештене испод ерозионе млазнице. На овај начин је дјелимично одвојен процес ерозије тла и ињектирања што даје бољи квалитет модификованог тла. Пречници од 0.90 до 1.50м. Трофлуидни систем је најефикаснији за кохезивна тла. Ово је систем који пружа највише контроле. Најбољи је за подупирање темеља. Недостатак је што је то сложен систем и захтијева искуство.</p>
	<p>SuperJet Grouting Ињекциона маса, ваздух и бушаћи флуид се пумпају кроз одвојене коморе у бушаћој шипки. Након достизања пројектоване дубине, спроводи се млазно ињектирање ињекционом масом обавијеном ваздухом при чему се престаје са пумпањем бушаћег флуида. Коришћењем врло мале брзине ротације добија се шип пречника од 3 до 5м.</p>

Чврстоћа ињектираног тијела

Чврстоћа млазно ињектираног тла зависи од:

- водоцементног фактора
- садржаја цемента
- врсте тла и гранулометријског састава
- старости ињекционе смјеше
- коришћеног система ињектирања

У табелама 2 и 3 су дате типичне вриједности постигнуте чврстоће ињектираног тијела тла у зависности од наведених параметара док је у табели 4 дат преглед извођачких параметара за три система млазног ињектирања.

Табела 2 -Постигнута чврстоћа ињектираног тијела тла -зависност од врсте тла уз одговарајућу количину цемента

Тло	Чврстоћа [МПа]
шљунак	20
пијесак	15
прашина/глина	8
органо тло	3

Табела 3 -Постигнута чврстоћа – зависност од система ињектирања

Врста тла	Систем	Чврстоћа [МПа]
Крупнозрно	једнофлуидни	20
	двофлуидни	11.25
	трофлуидни	15
Ситнозрно	једнофлуидни	5.75
	двофлуидни	10.75
	трофлуидни	4.50

Табела 4 -Приказ извођачких параметара три система млазног ињектирања (Kauschinger,1989)

Параметри		Број флуида		
		Један флуид	Два флуида	Три флуида
Притисак ињектирања [bar]	вода	-	-	300-550
	ињекц.маса	300-550	300-550	10-40
	ваздух	-	7-17	7-17
Проток	вода [l/min]	-	-	70-100
	ињ.маса [l/min]	60-150	100-150	150-250
	ваздух [m ³ /min]	-	1-3	1-3
Пречник млазница [mm]	вода	-	-	1.8-2.6
	ињ.маса	1.8-3.0	2.4-3.4	3.5-6.0
Пречник млазница [mm]	вода	-	-	1.8-2.6
	ињ.маса	1.8-3.0	2.4-3.4	3.5-6.0
Број млазница [ком]	вода	-	-	1-2
	ињ.маса	2-6	1-2	1
W/C	0.8:1 до 2:1			
cement [kg/m ³]		400-1000	150-550	150-650

Пречник ињектираног тијела

Смањење протока или повећање брзине извлачења прибора резултују мањим димензијама шипа. Одређивање пречника ињектираног тијела је приказано у доњој табели.

Пречник ињектираног тијела се може процијенити према изразу:

$$D^2 = \frac{Q_w(\rho_w - 1) + Q_{is}(\rho_s - \rho_{is})}{\chi 7.85(\rho_{tla} - \rho_s)v_{iz}}$$

гдје је:

- D - пречник ињекционог тијела
- Q_w – проток воде (лит/мин)
- Q_{is} – проток ињекционе смјеше (лит/мин)
- γ_w – јединична тежина воде
- v_{iz} - брзина извлачења прибора
- ρ_s - измјерена густина испране ињекционе смјеше (т/м³)
- ρ_{is} - измјерена густина ињекционе смјеше (т/м³)
- ρ_{tla} густина природног тла (т/м³)
- χ - удио честица (децимално) мањих од 0.4мм

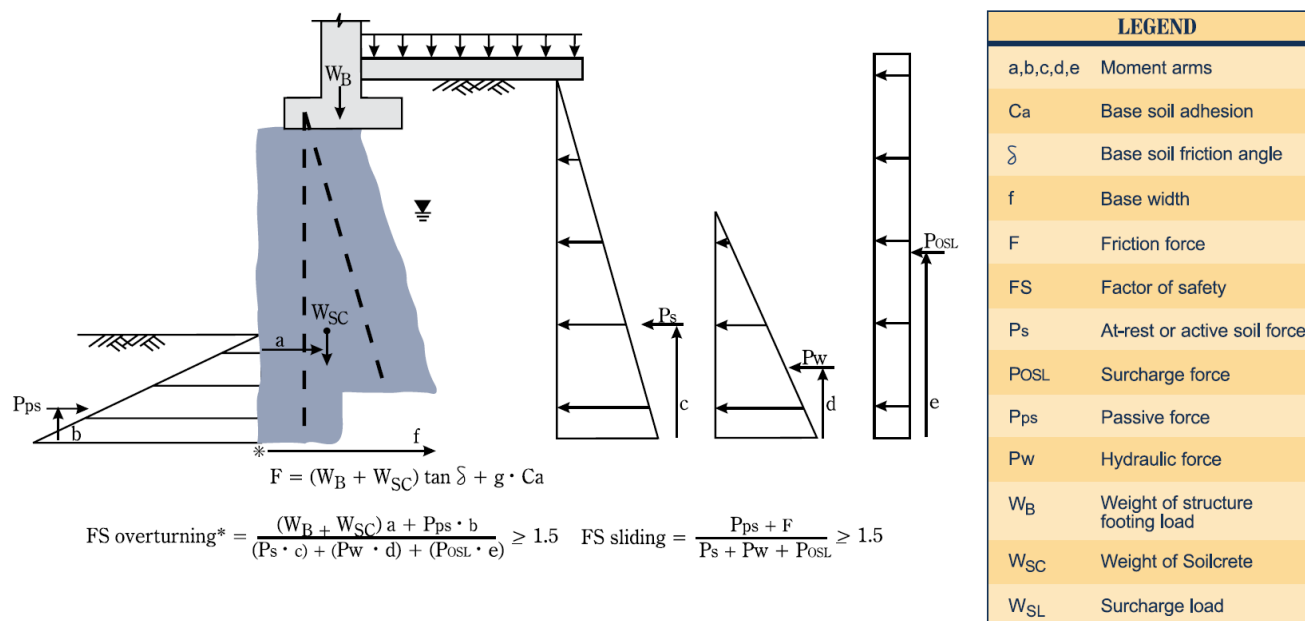
Предности млазног ињектирања су:

- може се користити код свих врста тла
- велики пречници ињектираних тијела тла (0.5-3м) се изводе прибором малих димензија
- препреке у тлу (комади дрвета, камење итд) могу бити заобиђене или уклопљене у ињектирану зону
- изводи се вертикално, косо и хоризонтално

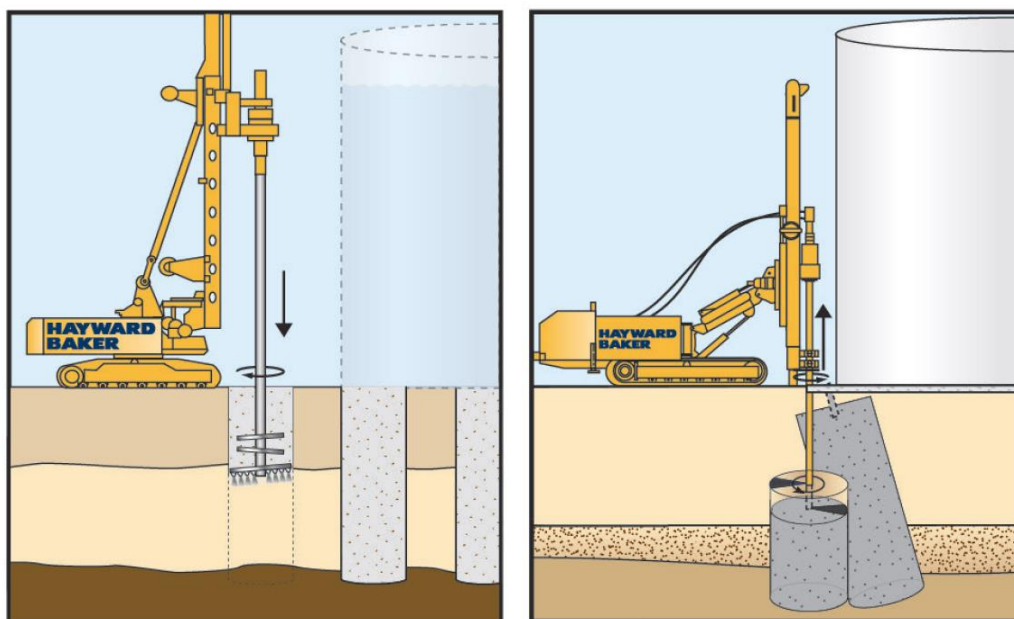
Недостаци млазног ињектирања су:

- основни недостатак је захтјев за осигурањем несметаног тока флуида од монитора до површине терена.
- висока цијена
- чврстоће ињектираног тла варирају, код глина и прашина су мале
- у случају већих брзина подземних вода може доћи до испирања цемента прије везивања

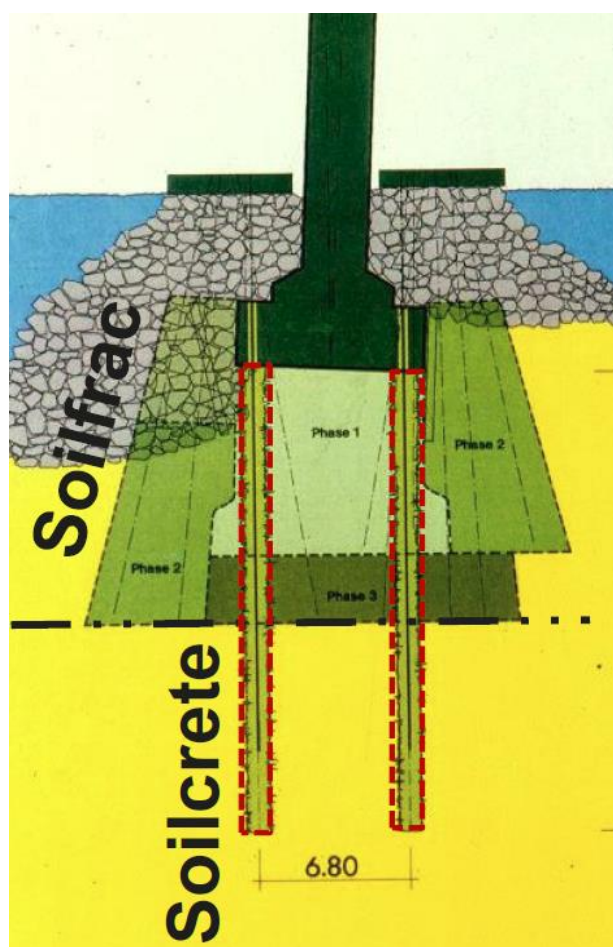
5.3. Примјери примјене млазног ињектирања



Слика 5.1: Примјена код подупирања постојећег објекта са приказом прорачуна фактора на претурање и клизање



Слика 5.2: Примјена побољшања темељног тла испод резервоара



Слика 5.3: Примјена код санирања подлоканог темеља мостовског стуба