



MLAZNO INJEKTIRANJE

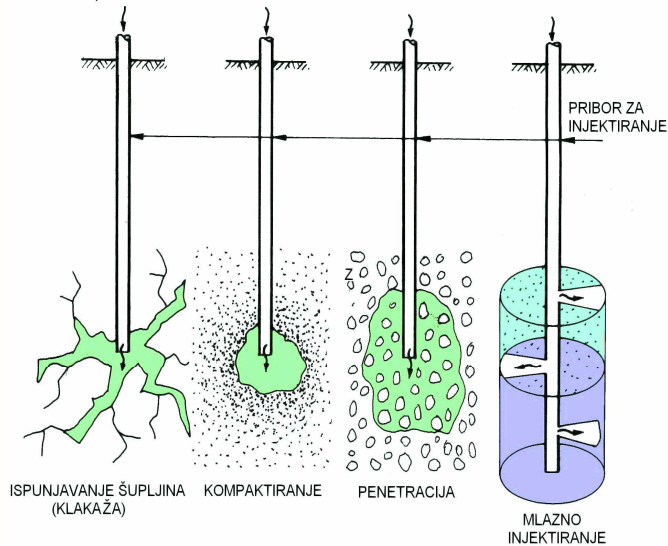
Prof. dr. sc. Biljana Kovačević Zelić

MLAZNO INJEKTIRANJE

- Mlaznim injektiranjem (*jet grouting*) stvaraju se u tlu valjkasta tijela sastavljena od mješavine injekcijske smjese i čestica tla, koji su poboljšanih karakteristika u odnosu na prirodno tlo
 - **SOILCRETE (concrete)**
- Pogodnom kombinacijom takvih valjaka (eventualno i izduženih panela) tla dobivamo razne konstrukcije koje mogu riješiti niz geotehničkih problema
- Koristi se već više od 40 godina



SHEMATSKI PRIKAZ VRSTA INJEKTIRANJA

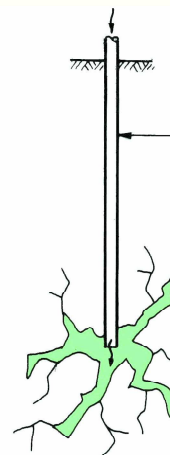


Sveučilište u Zagrebu
 RUDARSKO
 GEODIJSKO
 NAFTNI FAKULTET

ISPUNJAVANJE ŠUPLJINA - KLAKAŽA

Ispunjavanje šupljina - Injekcijska smjesa (najčešće na bazi cementa) utiskuje se u prazne prostore (šupljine) tla (stijene).

Poseban slučaj ove vrste injektiranja je tzv. **klakaža** - injekcijska smjesa utiskuje se u tlo pod visokim tlakom što uzrokuje hidraulički lom tla. Nastalu pukotinu ispunjava injekcijska smjesa, a okolno tlo se zbija.



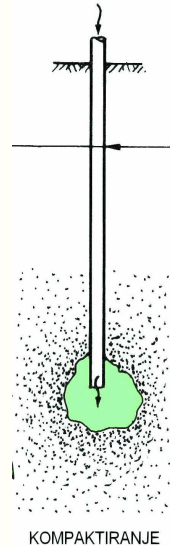
ISPUNJAVANJE ŠUPLJINA (KLAKAŽA)



Sveučilište u Zagrebu
 RUDARSKO
 GEODIJSKO
 NAFTNI FAKULTET

KOMPAKCIJSKO INJEKTIRANJE

Injekcijske smjese s visokim unutarnjim trenjem utiskuju se u stišljivo tlo, djeluje poput radialne hidrauličke preše, pa dolazi do pomaka čestica tla i povećanja gustoće okolnog tla.



Sveučilište u Zagrebu
 RUDARSKO
 GEOLÓŠKO
 NAFTNI FAKULTET

PENETRACIJSKO INJEKTIRANJE

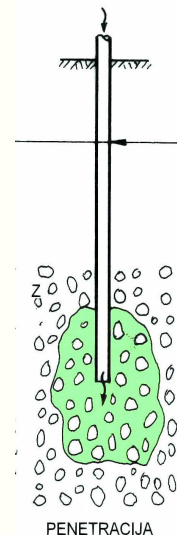
Injekcijska smjesa utiskuje se u tlo pod razmjerno niskim tlakom, tako da ne dolazi do promjene obujma i strukture tla.

Injekcijske smjese koje se pri tome koriste raznog su sastava i karakteristika, a osnovna baza za njihovo određivanje je propusnost tla.

Vrste smjesa:

- cementne smjese (za $k > 10^{-2}$ cm/s)
- silikatne smjese (za $k 10^{-2}$ do 10^{-4} cm/s)
- rezorcinske smjese ($k 10^{-4}$ do 10^{-6} cm/s)

Kod slabije propusnih vrsta tla, općenito nije moguća ova vrsta injektiranja.



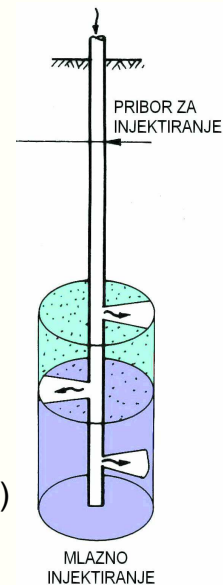
Sveučilište u Zagrebu
 RUDARSKO
 GEOLÓŠKO
 NAFTNI FAKULTET

MLAZNO INJEKTIRANJE

Posve se razbija struktura tla, te se čestice miješaju (*in-situ*) s vezivnim sredstvom, pa nastaje homogenizirana masa poboljšanih svojstava.

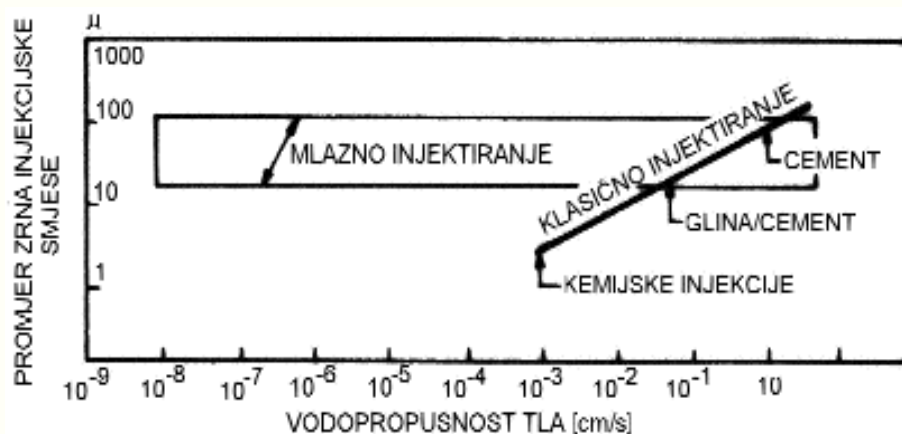
Tehnologija se primjenjuje kod raznih vrsta tla s raznim injekcijskim smjesama:

- vodo-cementne,
- vodo-cementno-bentonitne smjese.
- u određenim slučajevima koristi se i
- vapno (čisto vapno, vapno s cementom i dr.)



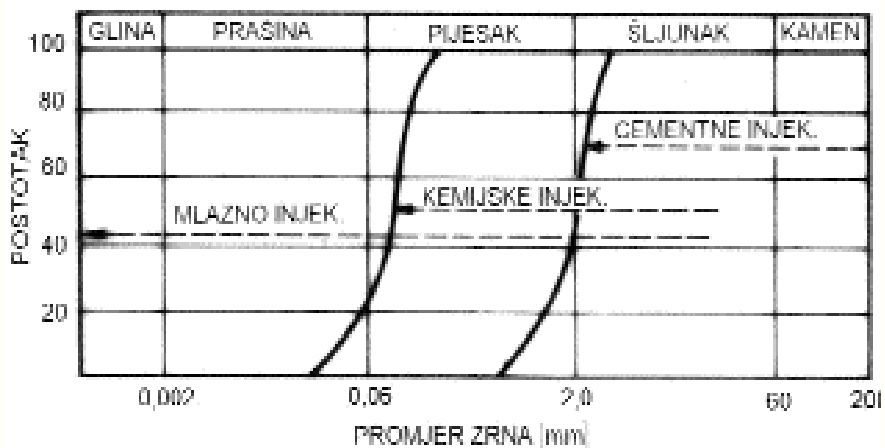
Sveučilište u Zagrebu
 RUDARSKO
 GEOLožKO
 NAFTNI FAKULTET

Primjenjivost injekcijskih smjesa u odnosu na vodopropusnost tla (Welsh et al., 1986)



Sveučilište u Zagrebu
 RUDARSKO
 GEOLožKO
 NAFTNI FAKULTET

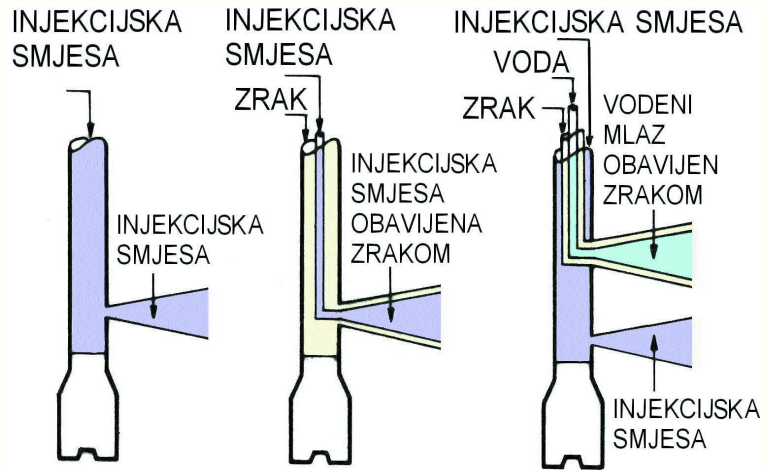
Primjenjivost injekcijskih smjesa u odnosu na promjer čestica tla (Welsh et al., 1986)



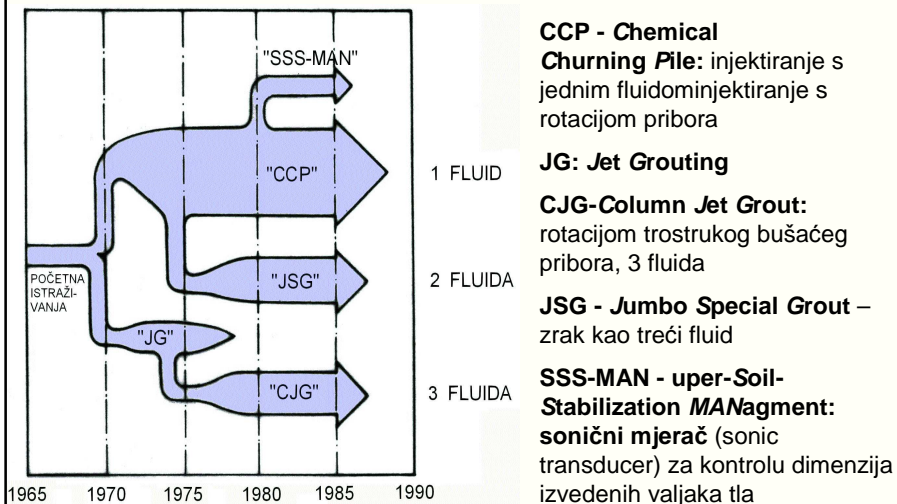
MLAZNO INJEKTIRANJE – KARAKTERISTIKE

- koriste se ekstremno visoki tlakovi: 30-70 MPa
- fluid se utiskuje u tlo brzinom 250-330 m/s
- velika brzina fluida služi za razbijanje (rezanje) strukture tla, premještanje čestica te njihovo miješanje s cementnom smjesom
- tri su osnovna postupka izvedbe mlaznog injektiranja:
 - **jednofluidni sustav** (injekcijska smjesa)
 - **dvofluidni sustav** (smjesa – zrak ili smjesa - voda)
 - **trofluidni sustav** (smjesa - voda - zrak)

Prikaz razlika izvedbe mlaznog injektiranja s jednim, dva i tri fluida



Kronologija razvoja osnovnih sustava mlaznog injektiranja



	"CCP" - JEDAN FLUID Umješavanje Injekcijske smjese pod velikim tlakom	"JSG" - DVA FLUIDA Umješavanje Injekcijske smjese obavijene zrakom	"CJG" - TRI FLUIDA Djelomično ispiranje materijala tlakom vode pod tlakom obavijene zrakom i utiskivanje injekcijske smjese
SCHEMATSKI PRIKAZ			
KARAKTE- RISTIKE IZVEDBE	<ul style="list-style-type: none"> - Podizanje pribora uz rotaciju - Horizontalno injektiranje pod visokim tlakom i mješanje čestica tla s injekcijskom smjesom 	<ul style="list-style-type: none"> - Podizanje pribora uz rotaciju - Horizontalno injektiranje pod visokim tlakom injekcijske smjese obavijene zračnom strujom 	<ul style="list-style-type: none"> - Podizanje pribora uz rotaciju - Utiskivanje mlaza vode obavijene zračnom strujom, pod visokim tlakom - Razbijanje strukture tla i njegovo djelomično ispiranje (izbacivanje na površinu) - Ubacivanje injekcijske smjese i mješanje s preostalim česticama tla
POGDNE VRSTE TLA	Koherentni materijali, prah, pijesak	Koherentni materijali, prah, pijesak, šljunak	Koherentni materijali, prah, pijesak, šljunak



PARAMETRI KOJI UTJEČU NA INJEKTIRANJE - OPREMA

Jednofluidni sustav (6):

- tlak injektiranja,
- broj i promjer mlaznica,
- vodocementni faktor injekcijske smjese,
- brzina podizanja pribora,
- trajanje rotacije

Dvofluidni sustav (+2):

- tlak i protok zraka

Trofluidni sustava (ukupno 10, tj. 5 kao i za jednofluidni sustav te 5 bitnih za režim vode i zraka)

- tlak vode,
- promjer i broj mlaznica za utiskivanje vode,
- tlak i protok zraka



OSTALI UTJECAJNI FAKTORI

- vrsta, zbijenost, plastičnost, vlažnost tla
- RPV
- količina cementa,
- utrošena energija



Sveučilište u Zagrebu
 RUDARSKO
 GEODIJSKO
 NAFTNI FAKULTET

PARAMETRI IZVEDBE SUSTAVA MLAZNOG INJEKTIRANJA

Parametri izvedbe		Broj fluida		
		Jedan fluid	Dva fluida	Tri fluida
Tlak injektiranja [bar]	voda	–	–	300–550
	injekcijska smjesa	300–550	300–550	10–40
	zrak	–	7–17	7–17
Protok	voda [l/min]	–	–	70–100
	inj. smj. [l/min]	60–150	100–150	150–250
	zrak [m ³ /min]	–	1–3	1–3
Promjer mlaznica [mm]	voda	–	–	1,8–2,6
	injekcijska smjesa	1,8–3,0	2,4–3,4	3,5–6,0
Broj mlaznica [kom]	voda	–	–	1–2
	injekcijska smjesa	2–6	1–2	1
W/C		0,8:1 do 2:1		
Sadržaj cementa	[kg/m ³]	200–500	300–1000	500–2000
	[kg/m ²]	400–1000	150–550	150–650
Brzina rotacije šipki [okr/min]		10–30	10–30	3–8
Brzina podizanja šipki [min/m]		3–8	3–10	10–25
Promjer injek. valjka [m]	krupnozrnato tlo	0,50–1,00	1,00–2,00	1,50–3,00
	sitnozrnato tlo	0,40–0,80	1,00–1,50	1,00–2,00
Čvrstoća valjka [N/mm ²]	pjeskovito tlo	10–30	7,5–15	10–20
	glinovito tlo	1,5–10	1,5–5,0	1,5–7,5



Sveučilište u Zagrebu
 RUDARSKO
 GEODIJSKO
 NAFTNI FAKULTET

PROMJERI

Vrsta tla	Sustav	Srednji promjer [m]	Faktor usporedbe
Krupnozrnato tlo	jedan fluid	0,75	1,00
	dva fluida	1,50	2,00
	tri fluida	2,25	3,00
Sitnozrnato tlo	jedan fluid	0,60	1,00
	dva fluida	1,25	2,10
	tri fluida	1,50	2,50

ČVRSTOĆA

Vrsta tla	Sustav	Srednja čvrstoća [N/mm ²]	Faktor usporedbe
Krupnozrnato tlo	jedan fluid	20,00	1,00
	dva fluida	11,25	0,56
	tri fluida	15,00	0,75
Sitnozrnato tlo	jedan fluid	5,75	1,00
	dva fluida	10,75	1,90
	tri fluida	4,50	0,80

Osnovni elementi od kojih ovisi čvrstoća mlazno injektiranog tla su:

1. Vodocementni faktor (što je W/C veći, čvrstoća je niža).
2. Sadržaj cementa (što je veća količina cementa, čvrstoća je veća).
3. Vrsta tla i granulometrijski sastav (u pijesku i šljunku postižu se veće čvrstoće nego u glini i prahu).
4. Starost (što je injektirana smjesa starija, to joj je i veća čvrstoća, s tim da je porast čvrstoće sporiji nego kod betona).
5. Korišteni sustav mlaznog injektiranja (1 fluid, 2 fluida ili 3 fluida).

UTROŠAK CEMENTA

Sustav	Utrošak cementa [kg/m ³]	Faktor usporedbe
jedan fluid	350	1,00
dva fluida	650	1,85
tri fluida	1250	3,60

ZBIRNA USPOREDBA

Sustav	Srednji promjer [m]	Volumen tijela [m ³ /m ³]	Utrošak cementa [kg/m ³]	Faktor usporedbe
jedan fluid	0,75	0,44	350	1,00
dva fluida	1,50	1,77	650	0,50
tri fluida	2,25	3,97	1250	0,40

ZAKLJUČNO O IZVEDBI

- Izvedbom injektiranja s 2-fluidnim sustavom postiže se skoro dvostruki promjer valjka u odnosu na 1-fluidni, a kod 3-fluidnog sustava on je približno 3 puta veći od promjera valjka izvedenog s 1-fluidnim sustavom, ali samo 50% u odnosu na izvedbu s 2-fluidnim sustavom.
- Utrošak cementa raste s porastom obujma injektiranog tijela ali njegov udio u mješavini cement - čestice tla pada. Time je dijelom objašnjiv i određeni pad čvrstoće injektirane mase tla kod rada s više fluida u odnosu na jedan.
- cijena opreme za rad s više fluida znatno se povećava, a to bitno utječe i na cijenu konačnog proizvoda



PREDNOSTI

- Može se koristiti kod svih vrsta tala (šljunak, pijesak, prah, glina) s ekološki prihvatljivim vodo-cementnim injekcijskim materijalima
- Veliki promjeri valjaka injektiranih stupova tla (50-300 cm) izvode se priborom malih dimenzija
- Prepreke u tlu (npr. komadi drveta, gromade kamena i dr.) mogu biti zaobiđene ili uklopljeni u injektiranu zonu tla
- Mlazno injektiranje može započeti na gotovo svakoj (dohvatnoj) dubini, te biti završeno na bilo kojoj razini ispod površine terena
- Mlazno injektiranje izvodi se vertikalno, koso i horizontalno u odnosu na površinu terena



NEDOSTACI

- Osnovni nedostatak je zahtjev za osiguravanjem nesmetane komunikacije (toka) fluida od položaja injektiranja do površine terena. Ako je komunikacija spriječena, to može izazvati hidraulički lom tla.
- Cijena zna biti vrlo visoka
- Čvrstoće injektiranog tla dosta variraju, a kod prašinastih i glinovitih vrsta tla relativno su niske.
- U slučaju kad su brzine podzemne vode velike, može se dogoditi ispiranje cementa (prije no što on veže), što onda utječe na kvalitetu očvrstlog injektiranog volumena tla.