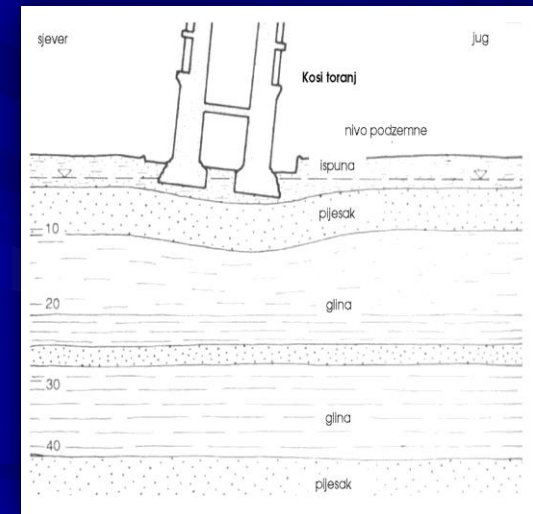


MLAZNO INJEKTIRANJE

POBOLJŠANJE SVOJSTAVA TLA I STIJENA

- Pojam poboljšanje svojstava tla i stijena obuhvaća razne tehnike koje se provode s ciljem poboljšanja geotehničkih osobina tla ili stijene (nedovoljna čvrstoća, velike deformacije, lom materijala, hidraulički slom itd.)
- Prilikom odabira odgovarajuće tehnologije poboljšanja tla uzima se u obzir niz parametara kao što su:
 - cilj poboljšanja
 - razina povećanja krutosti, nosivosti ili vodonepropusnosti
 - površina, dubina i ukupno volumen tla koji se poboljšava
 - tip tla i njegove mehaničke karakteristike
 - mogućnost nabave materijala za poboljšanje
 - ekološki parametri
 - iskustvo izvođača radova, vrijeme izvedbe
 - troškovi te analiza rizika uspješne provedbe poboljšanja.



METODE I TEHNIKE POBOLJŠANJA TLA I STIJENA

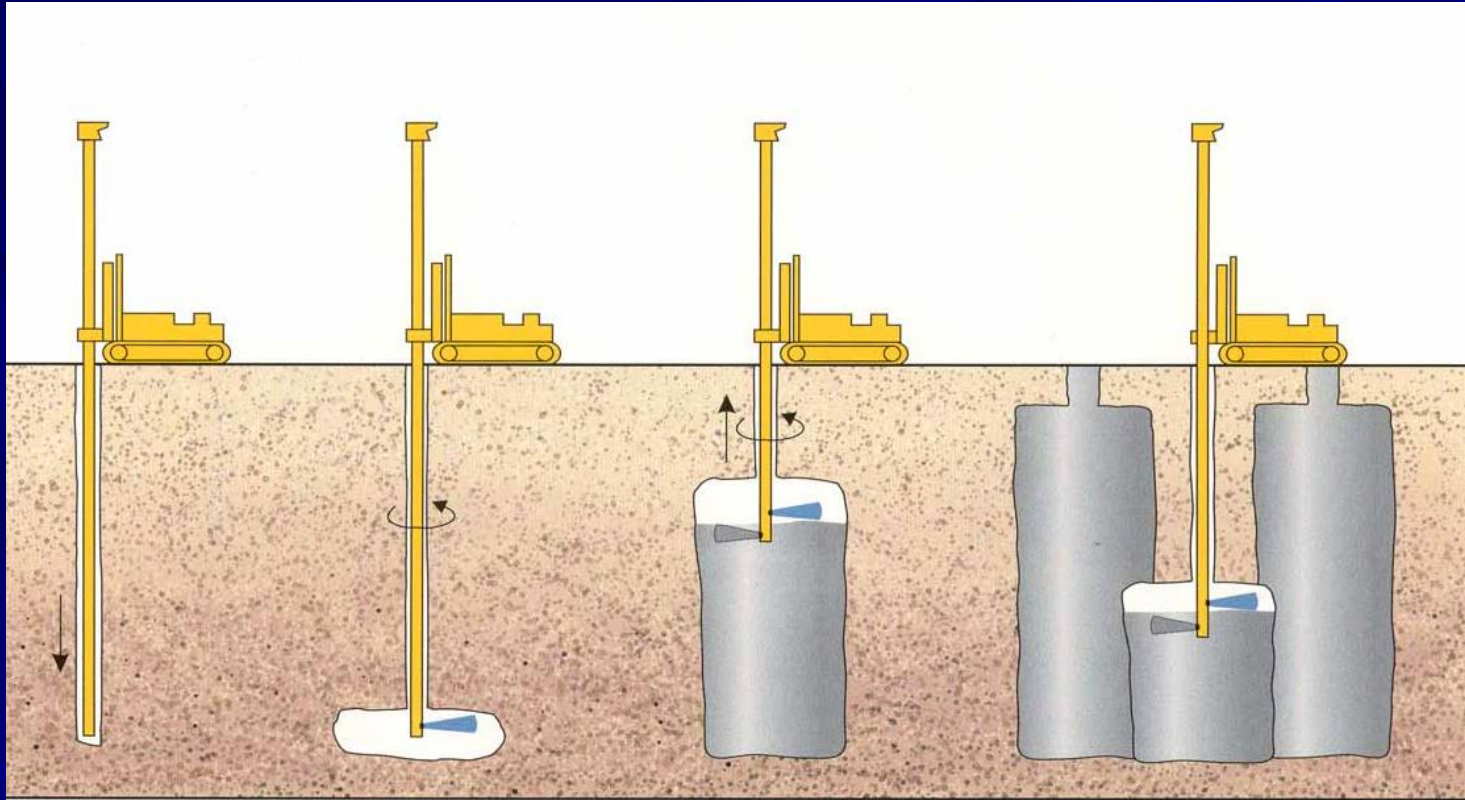
- Mehaničko poboljšanje
 - Tehnike plitkog zbijanja
 - Tehnike dubokog zbijanja
 - Hidromehaničko zbijanje
- Hidrauličko poboljšanje
 - Površinsko odvodnjavanje
 - Drenaža
- Fizičko i kemijsko poboljšanje
 - Stabilizacija uz upotrebu smjesa
 - Injektiranje
 - Tehnike smrzavanja
- Poboljšanje upotrebom dodataka
 - Armirano tlo
 - Upotreba geosintetika

MLAZNO INJEKTIRANJE (eng. JET GROUTING)

- Tehnologija ili metoda kojom se u tlo utiskuje cijev do projektirane dubine te se postepenim izvlačenjem uz konstantnu rotaciju određen volumen tla pretvara u zemljani mort miješanjem sa cementnom injekcijskom smjesom
- Cilj je formiranje stupnjaka ili ploha u tlu koje su homogenizirane injekcijskom smjesom te imaju poboljšana svojstva u odnosu na ostalo tlo



TEHNOLOGIJA IZVOĐENJA



- Tehnologiju, dakle karakteriziraju dvije osnovne radnje :
 - izvedba bušotine do projektno određene dubine te
 - provedba samog mlaznog injektiranja.

PREDNOSTI MLAZNOG INJEKTIRANJA

- Može se koristiti kod svih vrsta tla (šljunak, pijesak, prah, glina) s ekološki prihvatljivim injekcijskim smjesama
- Veliki promjeri valjaka injektiranih stupova tla (50-300 cm) izvode se opremom i priborom malih dimenzija
- Prepreke u tlu (npr. komadi drveta, gromade kamena i dr.) mogu biti zaobiđeni 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



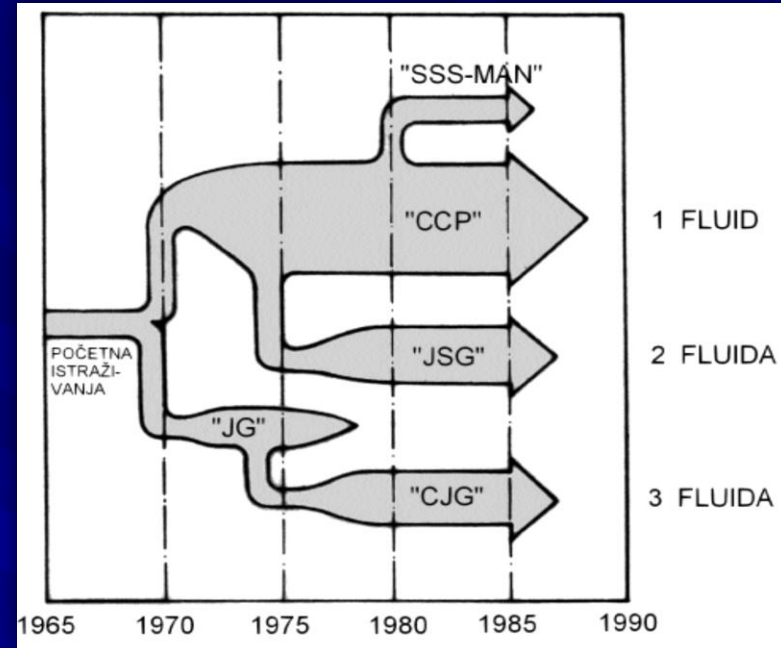
NEDOSTACI MLAZNOG INJEKTIRANJA

- 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 očvrslog injektiranog volumena tla.



RAZVOJ TEHNOLOGIJE MLAZNOG INJEKTIRANJA

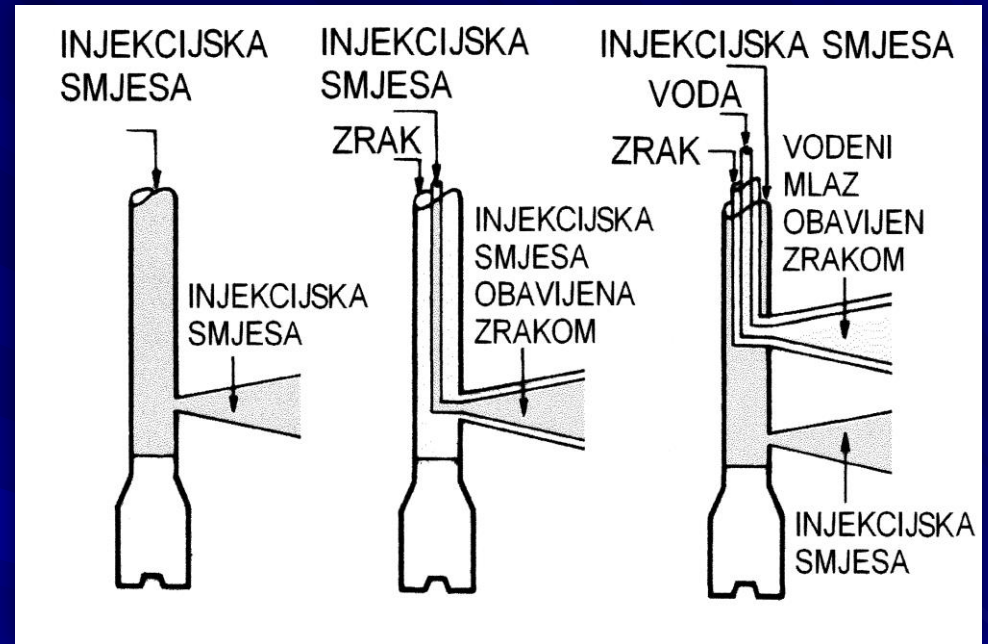
- Inicijalni razvoj počinje 1965.g. u Japanu
- Godine 1970. se konstruiraju dva različita tipa opreme za jednofluidni i trofluidni sustav
- Nakon početnog razvoja u Japanu tehnologija se širi od 1975.g. i u Europi
- Prva primjena u SAD-u datira iz 1987.g.



Razvoj osnovnih sustava za mlazno injektiranje

VRSTE MLAZNOG INJEKTIRANJA

- Postoje tri različite tehnologije mlaznog injektiranja:
 - Jednofluidni sustav
 - Dvofluidni sustav
 - Trofluidni sustav

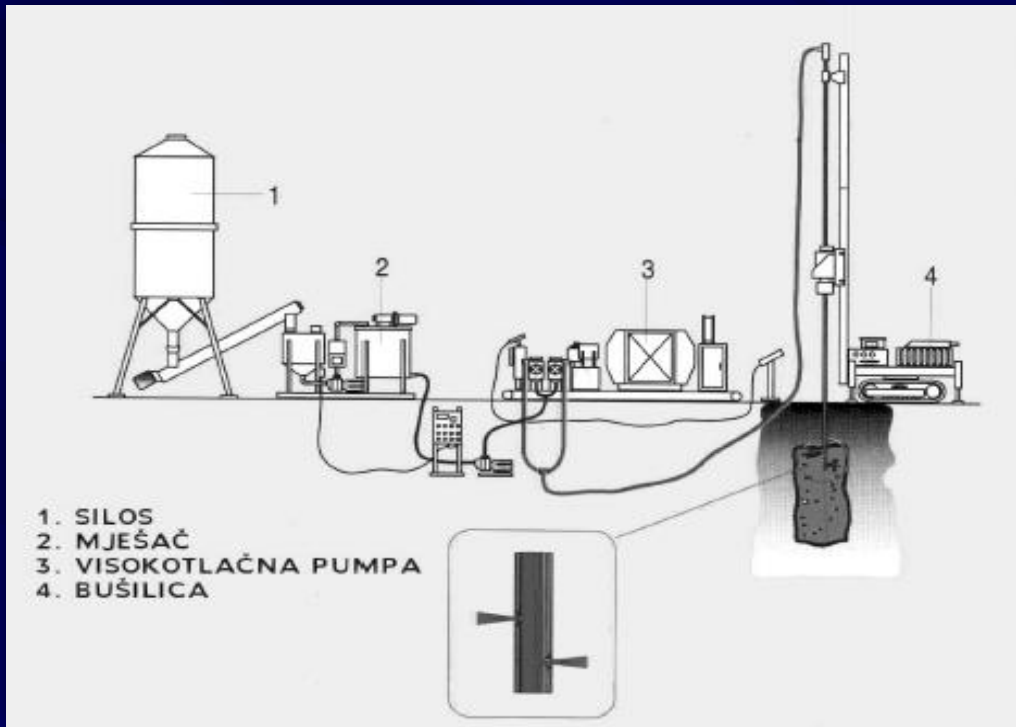


Prikaz razlika izvedbe mlaznog injektiranja s jednim, dva i tri fluida

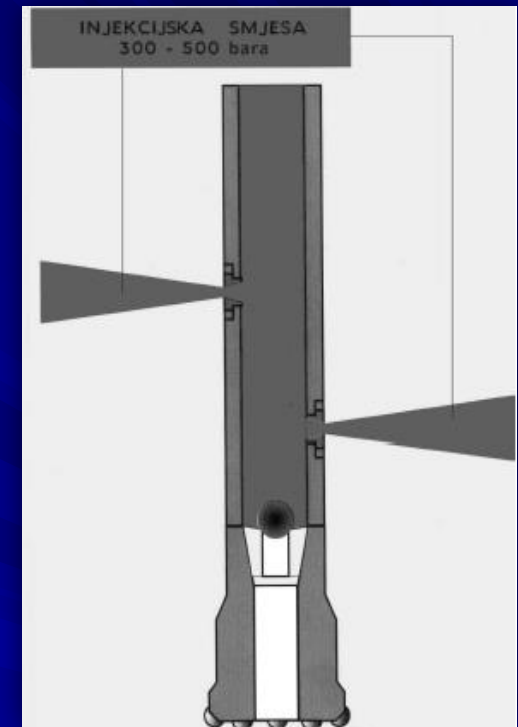
VRSTE MLAZNOG INJEKTIRANJA

- **Jednofluidni sustav (injekcijska smjesa)** – cementna suspenzija služi i za eroziju tla i direktno formiranje traženih elemenata.
- **Dvofluidni sustav (injekcijska smjesa – zrak)** – mlaz komprimiranog zraka se koristi za potporu erozivnog napada, istovremeno s mlazom suspenzije. Mlaznice su posložene koaksijalno, formirajući ili tvoreći grupirane mlazove suspenzije obavijene zrakom. Isto rezultira većim efektivnim radijusom ili snažnijim erozivnim napadom. Kao alternativa zraku za drugi fluid koristi se voda pri čemu eroziju izvodi vodeni mlaz visokog tlaka dok injekcijsku smjesu istovremeno dovodi odvojeni mlaz.
- **Trofluidni sustav (injekcijska smjesa – voda – zrak)** – s trofluidnim sustavom eroziju izvodi mlaz vode visokog tlaka obavijenog stlačenim zrakom. Koaksijalne mlaznice su smještene nekoliko centimetara iznad mlaznica za injekcijsku smjesu koja se dovodi pod nešto nižem tlaku. Rezultat je postignuće maksimalnog radijusa ili najsnažniji erozivni učinak.

JEDNOFLUIDNO MLAZNO INJEKTIRANJE

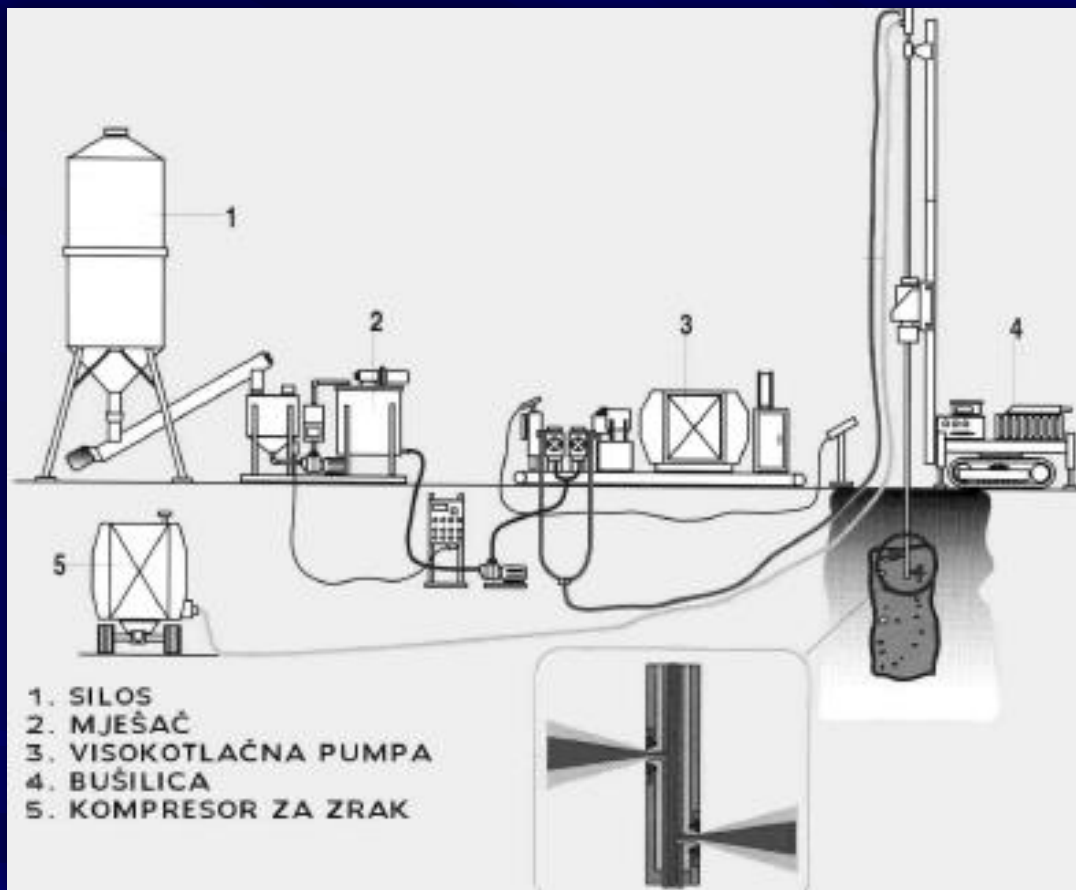


Shematski prikaz postrojenja jednofluidnog sustava mlaznog injektiranja

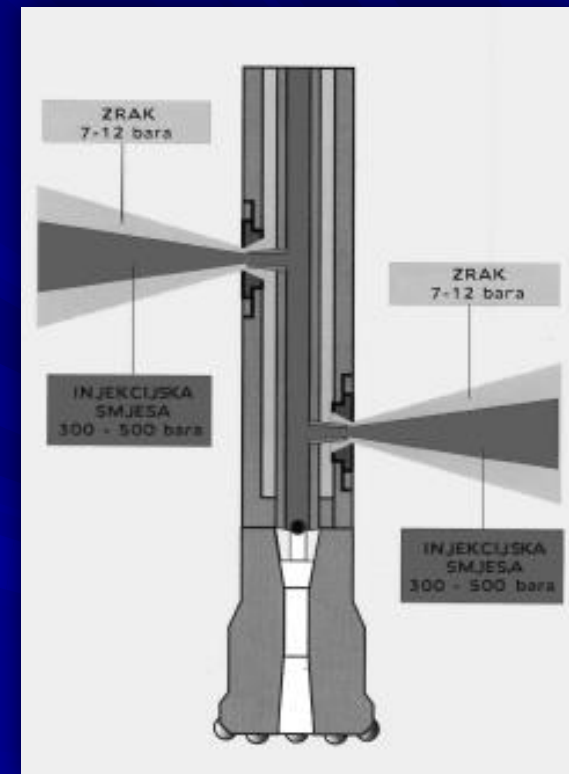


Shema toka fluida kod jednofluidnog sustava

DVOFLUIDNO MLAZNO INJEKTIRANJE

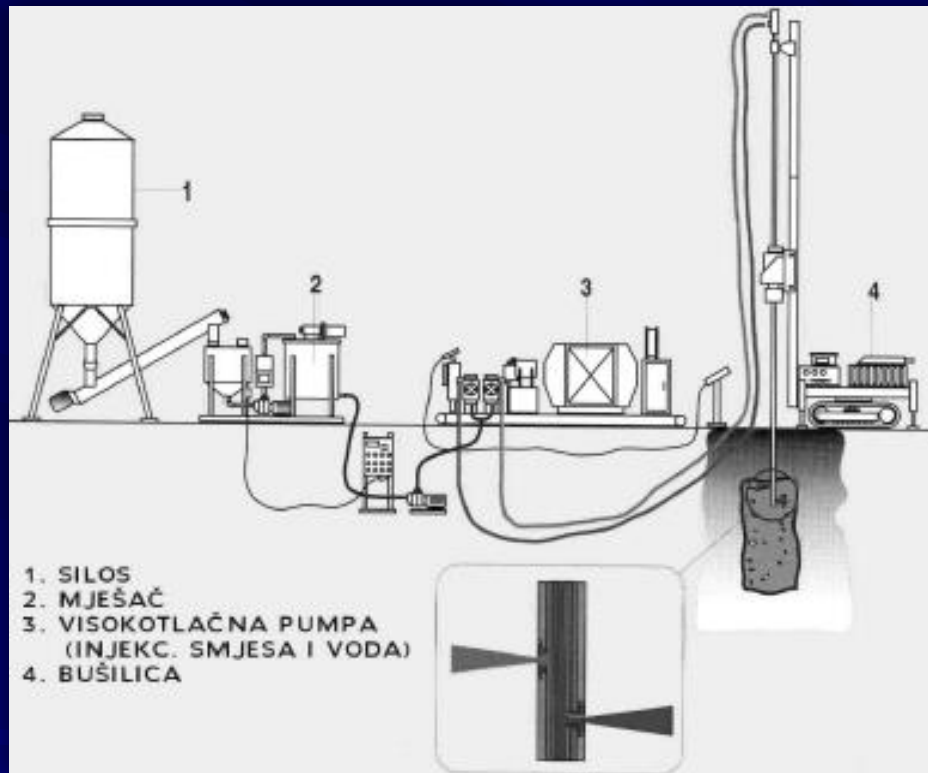


Shematski prikaz postrojenja dvofluidnog sustava mlaznog injektiranja

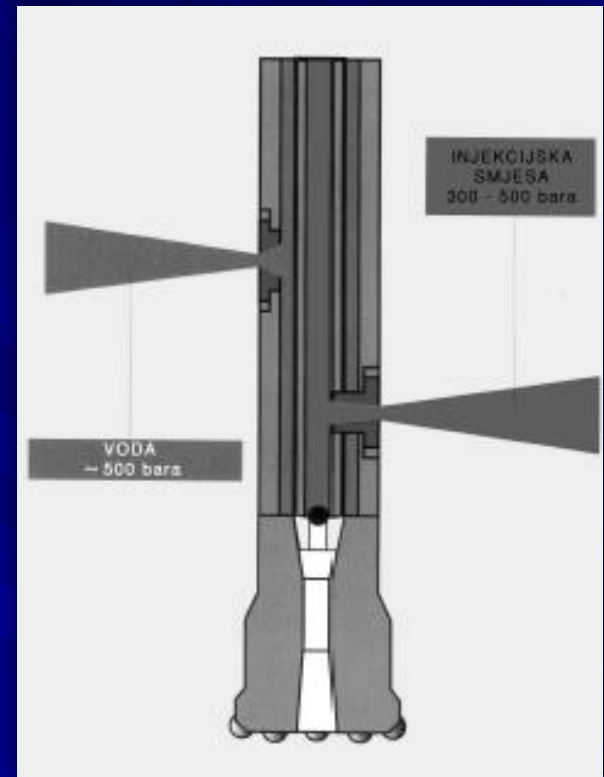


Shema toka fluida

DVOFLUIDNO MLAZNO INJEKTIRANJE

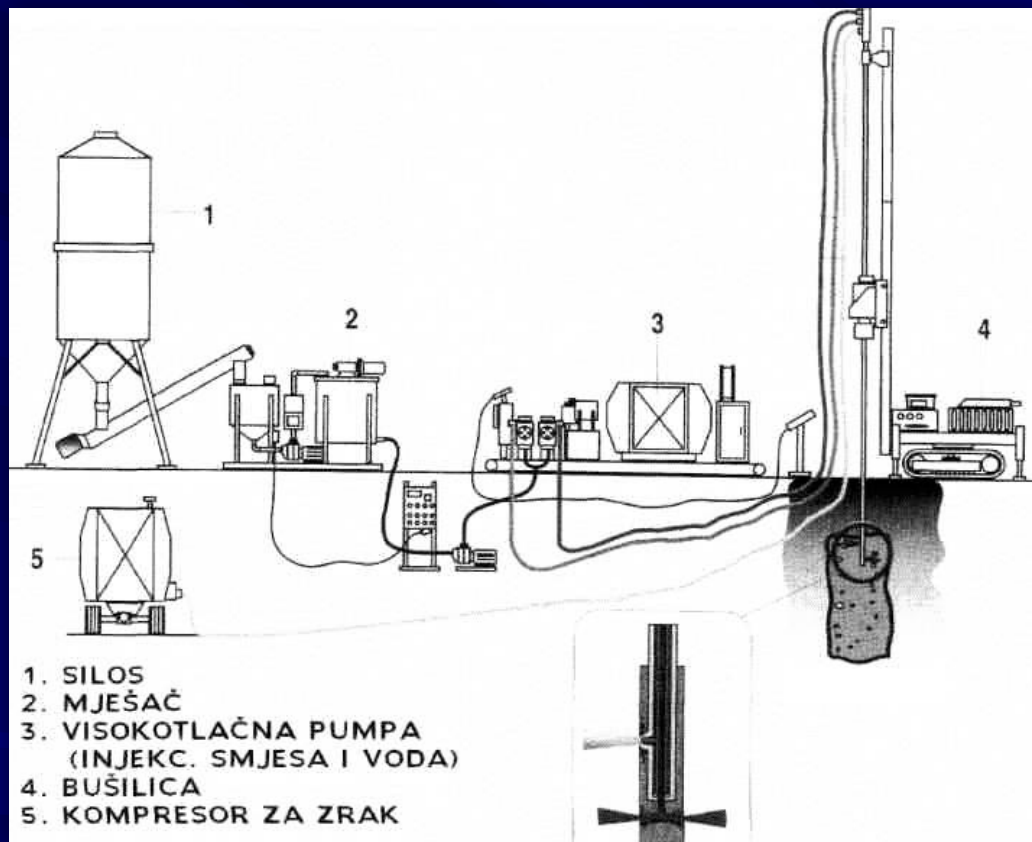


Postrojenje dvofluidnog sustava kod kojeg je drugi fluid voda

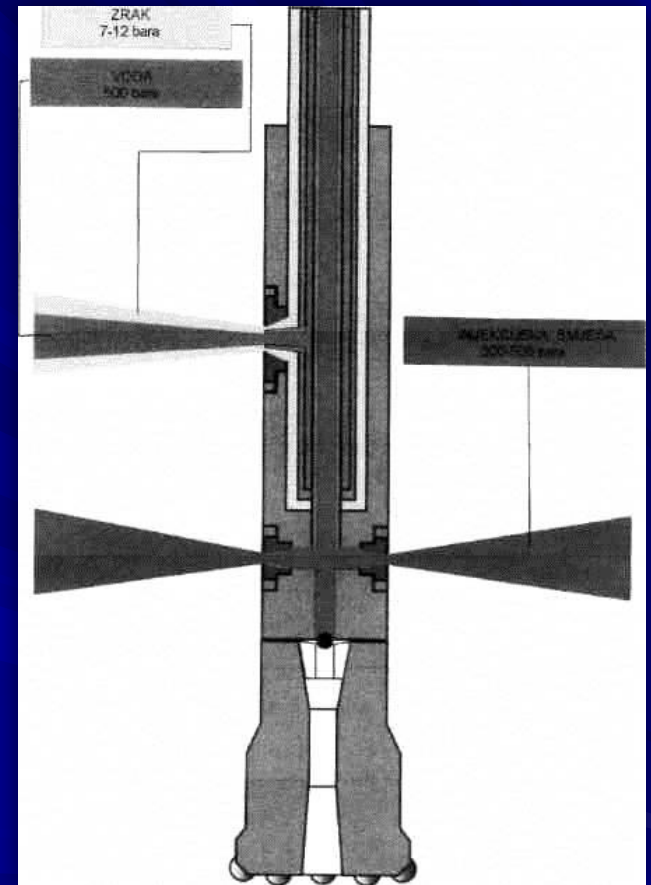


Shema toka fluida kroz mlaznice, voda je drugi fluid

TROFLUIDNO MLAZNO INJEKTIRANJE



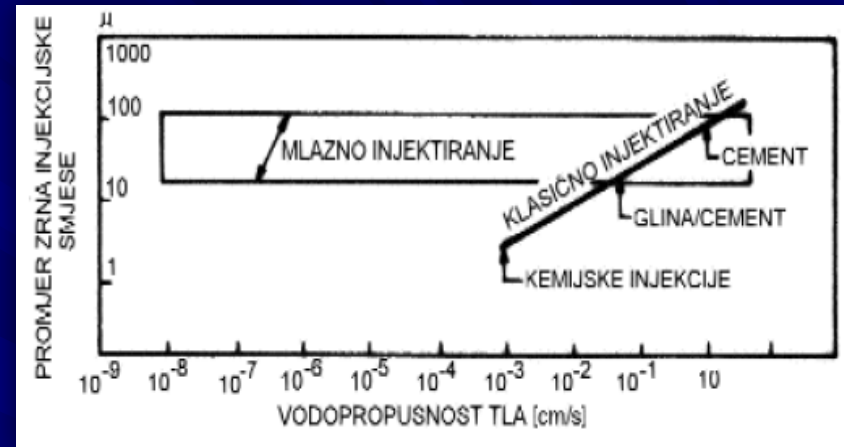
Shematski prikaz postrojenja trofluidnog sustava mlaznog injektiranja



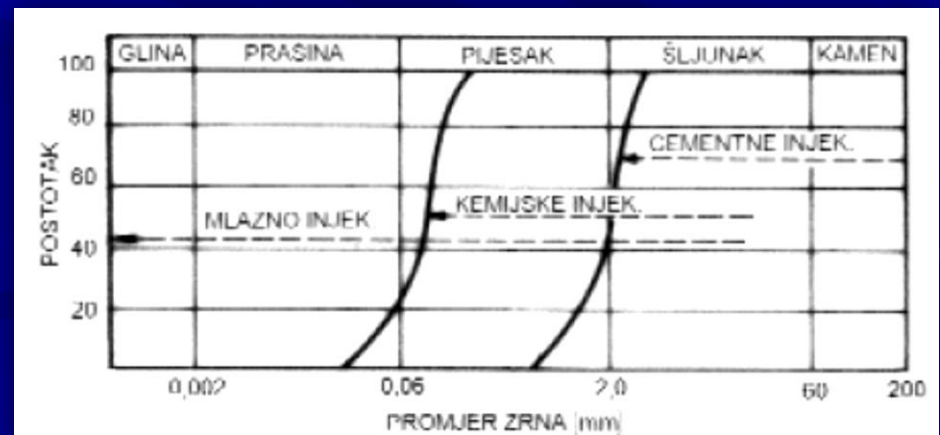
Shema toka fluida

OVISNOST VRSTE TLA O POSTUPKU INJEKTIRANJA

- Tehnologija mlaznog injektiranja ima svoju primjenu kod raznih vrsta tla s različitim vrstama injekcijskih smjesa
- Najčešće se koriste cementne i cementno-bentonitne injekcijske smjese



Primjenjivost injekcijskih smjesa u ovisnosti o vodopropusnosti tla



Primjenjivost injekcijskih smjesa u odnosu na promjer čestica tla

ČVRSTOĆA INJEKTIRANOG VOLUMENA TLA

- Sastav materijala u konačnici izvođenja mlaznog injektiranja sadrži cement, čestice tla, nešto zraka i vode.
- Osnovni parametri koji utječu na čvrstoću mlaznog injektiranja su:
 - vodocementni faktor (porastom v/c omjera čvrstoća se smanjuje)
 - sadržaj cementa (veća količina cementa, veća čvrstoća)
 - sadržaj tla i granulometrijski sastav (u pijesku i šljunku postiže se veća čvrstoća nego u glini i prahu)
 - starost (što je injektirana smjesa starija to joj je i čvrstoća veća s tim da je porast čvrstoće sporiji nego betona)
 - korišteni sustav mlaznog injektiranja (1 fluid, 2 fluida, 3 fluida).

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. smjesa [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']	200 - 500	300 - 1000	500- 2000
	[kg/m ³]	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. valjaka [m]	krupnozrnato tlo	0,50 -1,00	1,00 -2,00	1,5 -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

PROMJER STUPNJAKA

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

Ne može se dati izravna prednost jednom od promatrana tri sustava već izbor jedne od metoda ili sustava ovisi o tipu tla unutar kojeg se izvode radovi, cijeni, dostupnoj tehnologiji itd.



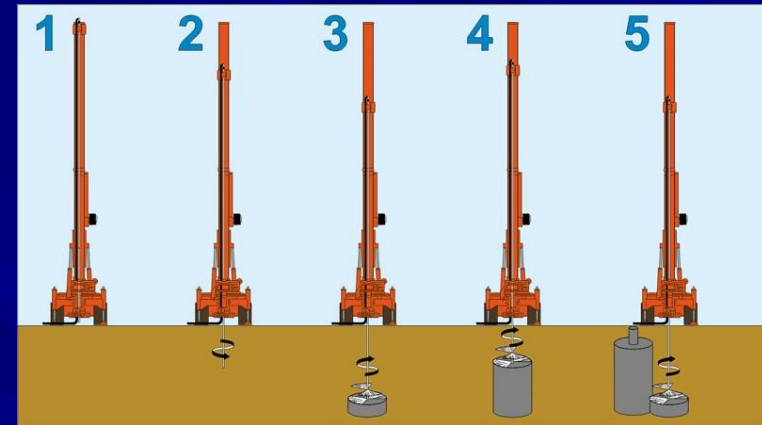
ČVRSTOĆA I POTROŠNJA CEMENTA

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

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

DULJINA STUPNJJAKA

- Duljina je prvi parametar razmatranja i vezana je uz karakteristike opreme za bušenje ili točnije opreme za mlazno injektiranje.
- U principu radne šipke za bušenje i za mlazno injektiranje trebaju biti u jednom komadu (naravno sastavljene od niza kraćih šipki). Iz tih razloga i bušeći toranj treba biti visine kao i bušeće šipke. Ako je predviđena dubina injektiranja 20 metara i toranj treba biti iste visine. Razlog tome je što se mora spriječiti savijanje šipki kad su iste potpuno izvučene iz tla. Kod bušenja se pribor za bušenje postepeno nastavlja s povećanjem dubine bušenja, a skraćuje se kad se vadi iz tla. Isto nije moguće kod mlaznog injektiranja.



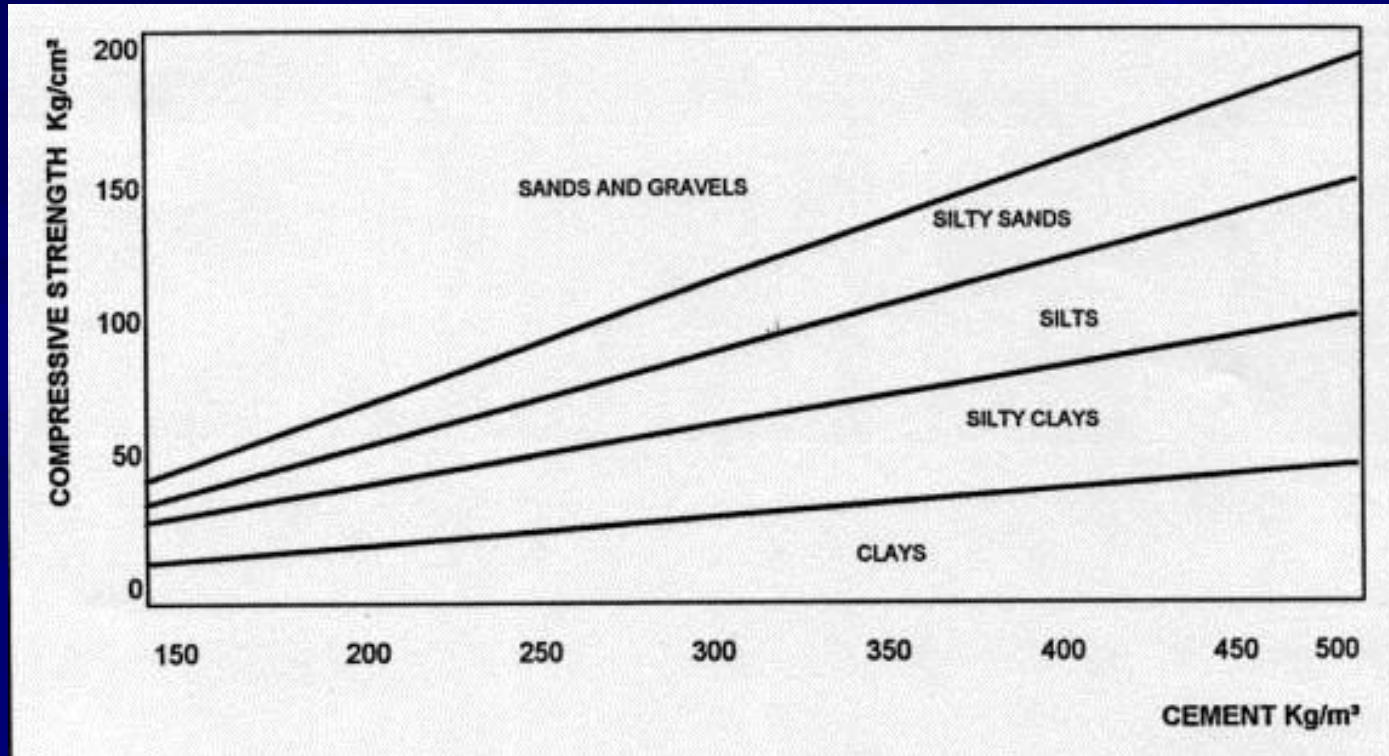
PROMJER STUPNJJAKA



Vrsta tla	Promjer (cm)
šljunak	80 – 120
s malo pijeska	do 100
s puno pijeska	80 – 90
pijesak	55 – 80
vrlo zbijen	55 – 60
srednje zbijen	70 – 75
glina	45 – 100
žitka	do 100
meka	do 75
kruta	55 – 60
(polu)čvrsta	45 - 50
organsko tlo i nasipi	vrlo promjenjivo (do 100)

Odnos vrste tla i mogućih promjera injekcijskih tijela

ČVRSTOĆA INJEKTIRANOG TLA



Uzimajući u obzir vrstu tla moguće je postići sljedeće jednoosne tlačne čvrstoće injektiranog tijela:

- u šljunku do 20 N/mm²
- u pijesku do 15 N/mm²
- u prahu i glini do 8 N/mm²
- u organskom tlu do 3 N/mm²

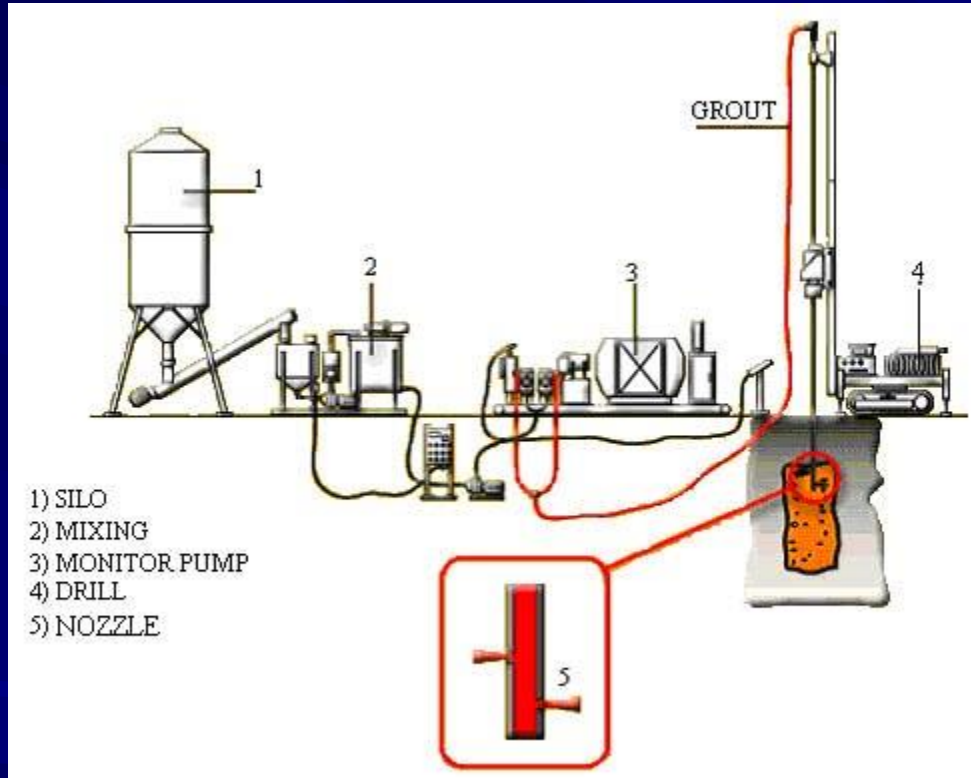
MODUL ELASTIČNOSTI INJEKTIRANOG TLA

Vrsta tla	Modul elastičnosti (MN/m ²)
šljunak	10 000 – 15 000
pijesak	7 000 – 10 000
prah i glina	4 000 – 5 000
organsko tlo	1 500 – 3 000



Parameters for Jet Grouting	1-Fluid		2-Fluid		3-Fluid	
	Min	Max	Min	Max	Min	Max
Binder injection pressure (Mpa)	20	60	30	60	3	7
Binder flow (l/min)	40	120	70	150	70	150
Air Pressure (Mpa)	-	-	0.6	1.2	0.6	1.2
Air flow (l/min)	-	-	2000	6000	2000	6000
Water injection pressure (Mpa)	-	-	-	-	20	50
Water flow (l/min)	-	-	-	-	70	150
Binder nozzle diameter (mm)	1.5	3	1.5	3	4	8
Water nozzle diameter (mm)	-	-	-	-	1.5	3
Coaxial air nozzle opening (mm)	-	-	1	2	1	2
Speed of rotation (rpm)	10	25	5	10	5	10
Speed of withdrawal (cm/min)	10	50	7	30	5	30

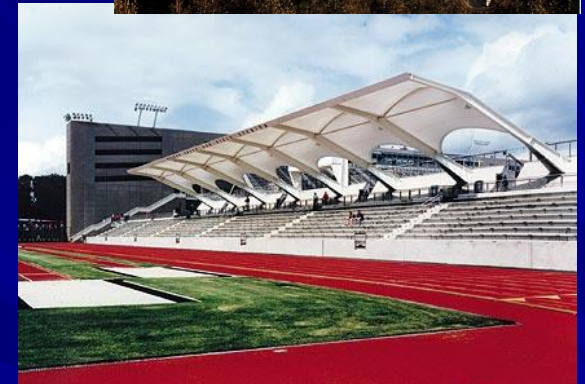
POGON ZA MLAZNO INJEKTIRANJE



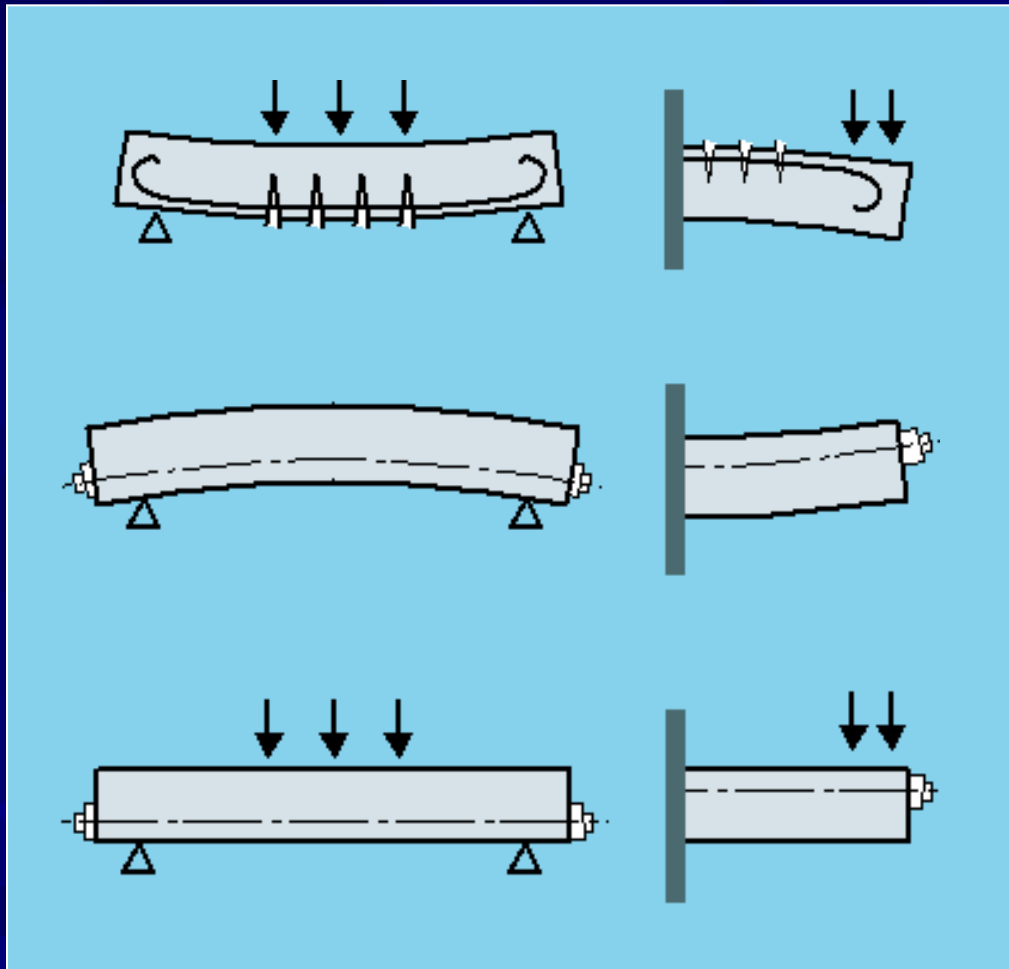
**INJEKCIJSKA SMJESA
ZA INJEKTIRANJE
PREDNAPETIH
KONSTRUKCIJA**

PREDNAPETE BETONSKE KONSTRUKCIJE

- primarna primjena kod objekata velikih raspona - stadiona, tržnica, sportskih dvorana, mostova



IDEJA PREDNAPINJANJA



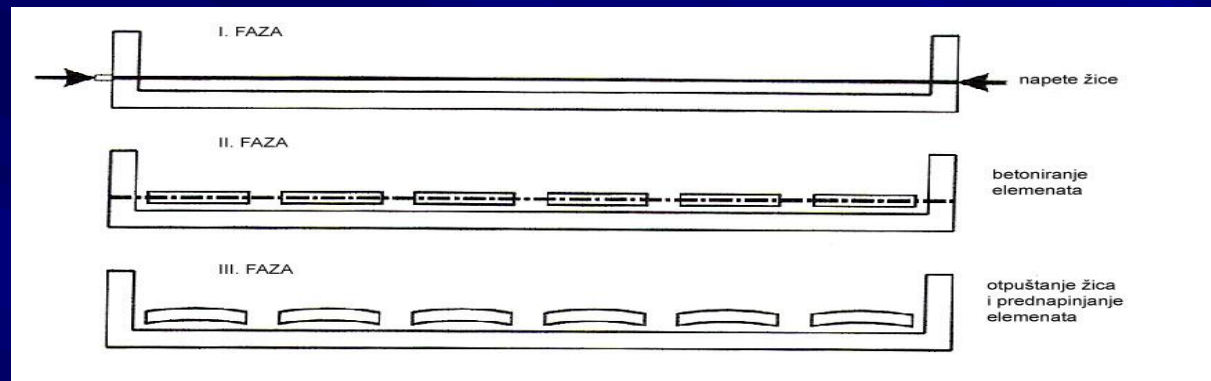
**opterećeni
armirano-betonski
element**

**prednapeti
betonski element
prije opterećivanja**

**prednapeti
betonski element
nakon
opterećivanja**

VRSTE PREDNAPINJANJA

- prednapinjanje prije očvršćavanja betona (adhezijsko prednapinjanje)

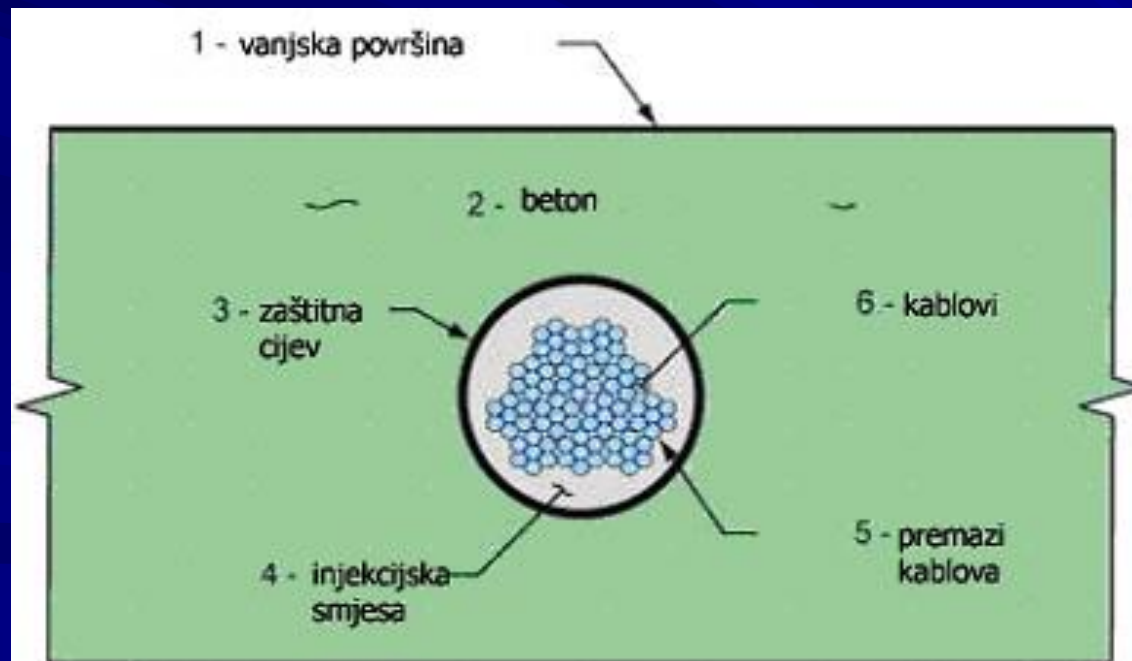


- prednapinjanje nakon očvršćavanja betona (naknadno prednapinjanje)



PRESJEK NAKNADNO PREDNAPETOG ELEMENTA

- maksimalno 6 nivoa korozijske zaštite
- na postojećim konstrukcijama uobičajena 3 sloja



- U naknadno prednapetim betonskim konstrukcijama injektiranje kablova je važan postupak.
- Injekcijska smjesa ima zadatak da obavije čelik za prednapinjanje i ispuni sve šupljine u cijevi radi zaštite čelika od korozije.
- Injekcijska smjesa se obično sastoji od cementa, vode i dodatka za bubrenje.
- Vodocementni omjer ovakvih injekcijskih smjesa najčešće iznosi 0,42.
- Upotrebljeni materijali trebaju biti takvi da sadržaj klorida ne prelazi 0,1% Cl⁻ mase cementa.

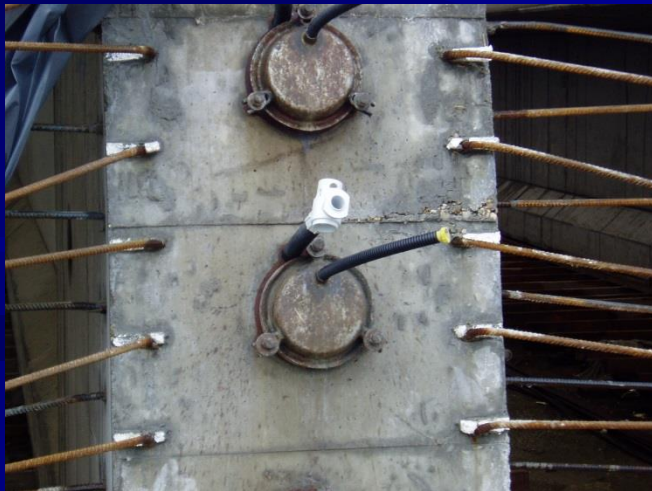


SVOJSTVA INJEKCIJSKE SMJESE ZA INJEKTIRANJE PREDNAPETIH KONSTRUKCIJA

- Injekcijska smjesa treba biti u skladu s propisanim zahtjevima za:
 - protočnost u svježem stanju,
 - izdvajanje vode u svježem stanju
 - volumna deformacija pri očvršćavanju,
 - tlačna čvrstoća očvrсле injekcijske smjese.

PROTOČNOST

- Protočnost injekcijske smjese za vrijeme injektiranja treba biti dovoljno visoka da se može uspješno pumpati i odgovarajuće puniti prostor između prednapetih kabela i zaštitne cijevi, a dovoljno niska da se istisne zrak ili voda iz oplata.



ISPITIVANJE PROTOČNOSTI HRN EN 445

PROTOČNOST

priprema opreme

priprema mješavine

mjerenje u konusu nakon miješanja

miješanje

mjerenje u konusu nakon 30 min

- protočnost odmah i nakon 30 minuta $\leq 25s$



Metoda ispitivanja dana u EN 445	Odmah nakon miješanja Vrijeme (s)	30 min. nakon miješanja ¹⁾ ili na kraju vremena injektiranja Vrijeme (s)	Kod izlaza kabela Vrijeme (s)
Uranjanje Konus	≥ 30 $\leq 25 (50)^2)$	$\leq 80 (200)^2)$ $\leq 25 (50)^2)$	≥ 30 ≥ 10

¹⁾Vrijeme miješanja mjeri se od trenutka kada su svi sastojci u miješalici.

²⁾Za mortove za injektiranje pripremljene u miješalicama koje imaju visoko turbulentni proces miješanja, gornje granice dane u tablici 1 mogu se povećati na 200 s za ispitivanje uranjanjem i na 50 s za ispitivanje konusom. Miješalica i ove granice su predmet odobrenja ovlaštenog stručnjaka.

IZDVAJANJE VODE

- Izdvajanje vode (dekantacija) injekcijske smjese treba biti dovoljno maleno da se spriječi pretjerana segregacija i slijeganje sastojaka morta, te pojava šupljina.
- Kod ispitivanja jednom od metoda danih normi HRN EN 445 izdvajanje vod treba biti manje od 2 % početnog volumena morta za injektiranje nakon 3 h.



ISPITIVANJE IZDVAJANJA VODE HRN EN 445

IZDVAJANJE VODE

priprema opreme

priprema mješavine

početni volumen morta (h)

volumen izdvojene vode (h_1)

- izdvajanje vode nakon 3 sata $\leq 2\%$



VOLUMNE DEFORMACIJE

- Volumne deformacije koje mjere su skupljanje ili bubrenje injekcijske smjese.
- Kod ispitivanja prema metodama danim u točkama norme HRN EN 445 volumne deformacije morta za injektiranje trebaju biti unutar -1% i $+5\%$.
- Obično se u injekcijsku smjesu za injektiranje prednapetih kabela dodaje aditiv za bubrenje.

ISPITIVANJE VOLUMNE DEFORMACIJE HRN EN 445

VOLUMNE DEFORMACIJE

priprema opreme

priprema mješavine

ispitivanje u limenkama
(visina morta, h_1)

ispitivanje nakon 24 h
(visina morta, h_2)



- promjena volumena -1% do +5%

TLAČNA ČVRSTOĆA

- Tlačna čvrstoća injekcijske smjese određuje se postupkom ispitivanja određenim u normi HRN EN 445.
- Tlačna čvrstoća treba biti veća od 30 MPa za starost 28 dana, ili 27 MPa za starost 7 dana ako je osnovana na proračunu vjerojatne 28-dnevne iz 7-dnevne čvrstoće.

ISPITIVANJE ČVRSTOĆA, HRN EN 445

ISPITIVANJE ČVRSTOĆE

priprema opreme

priprema mješavine

spravljanje uzoraka

njega uzoraka

ispitivanje savojne čvrstoće

ispitivanje tlačne čvrstoće

- tlačna čvrstoća > 30 MPa



DOZIRANJE I MIJEŠANJE INJEKCIJSKE SMJESE

- Svi sastojci se doziraju maseno osim vode koja se može dozirati maseno ili volumno. Točnost doziranja treba biti:
 - $\pm 2\%$ mase za cement i dodatke
 - $\pm 1\%$ mase za voduod količina koje su određene.
- Maksimalni vodocementni faktor (v/c) treba biti 0,44.
- Miješanje se vrši mehanički da se dobije homogena i postojana injekcijska smjesa bez cementnih grudvica

OPREMA

- Oprema za injektiranje sastoji se od:
 - miješalice,
 - spremnika i pumpe sa svim potrebnim spojnim cijevima, ventilima, mjernim uređajima za vodu, cement i dodaci, i
 - oprema za ispitivanje.
- Oprema za miješanje treba biti takva da proizvede mort za injektiranje koji ima jednoliku raspodjelu cementa i dodataka i minimalnu prisutnost cementnih grudica, i treba biti u skladu s zahtjevima točke 5 norme EN447.

■ Rešetka

- Oprema za injektiranje treba sadržavati rešetku čiji otvori mogu biti maksimalno 2 mm, kroz koju smjesa prolazi prije nego se uvodi u spremnik.

Spremnik

- Miješalica treba imati dodatni spremnik s agitatorom koji drži smjesu kontinuirano u pokretu prije nego se pumpa u kabel. Za vrijeme prekida u pumpanju, mort treba kružiti unatrag.
- Kapacitet miješalice i spremnika treba biti takav da se kabel može napuniti bez prekidanja i pri traženoj brzini.

Pumpa

- Pumpa treba osigurati kontinuirani protok injekcijske smjese i treba održavati tlak od najmanje 1 MPa; treba biti opremljena s mjerilom tlaka.
- Treba biti ugrađen ventil za oslobađanje tlaka da se spriječi tlak preko 2 MPa, ili preko druge vrijednosti određene izabranim postupkom injektiranja.
- Nije dopuštena upotreba komprimiranog zraka za pumpanje.
- Pumpa treba biti konstruirana tako da se spriječi uvlačenje zraka, ulja ili drugih stranih tvari u injekcijsku smjesu.
- Kapacitet pumpe treba biti takav da se kabel može adekvatno injektirati.
- Upotreba pumpe s promjenljivim izlazom ima prednost da se može prilagoditi zahtjevima kablova različitih promjera.

Cijevi

- Promjer i procijenjen tlačni kapacitet cijevi trebaju biti usklađeni s izlazom pumpe, postignutim maksimalnim tlakom i potrebnom duljinom.
- Spojnici cijevi ne smiju smanjiti unutarnji čisti promjer cijevi.

■ Ulazni spojevi

- Cijevi trebaju biti tijesno spojene s ulazom kabela. Preporučuju se stege, bajonet-spoj ili slični spojevi.
- Uski otvori, kroz koje mort može proći, trebaju se izbjeći, jer povećanje pritiska može dovesti do opasnosti od začepljenja.
- Mjerilo pritiska treba biti montirano na ulasku kabela.

POSTUPAK INJEKTIRANJA

- Prije početka injektiranja potrebno je napraviti prethodna ispitivanja injekcijske smjese i sastavnih komponenti.
- Postupak treba osigurati propisno i potpuno punjenje oplata mortom za injektiranje.
- U zadanim uvjetima, treba napraviti probna injektiranja u obliku reprezentativnom za konstrukciju, npr. kad postoji dilema oko sposobnosti uspješnog injektiranja pojedinog dijela.

OSOBLJE

- Postupci injektiranja trebaju biti pod nadzorom osobe s odgovarajućim znanjem, obukom i iskustvom u proizvodnji, ispitivanju i sustavima kontrole koja će biti odgovorna za proizvodnju i injektiranje.
- Ta osoba, ili odgovarajuće obučen predstavnik, mora biti prisutna kod svih radnji injektiranja i treba biti odgovorna za sve sigurnosne mjere predostrožnosti koje se odnose na postupke pripreme i injektiranja.

ULAZI I IZLAZI CIJEVI

- Položaj ulaza i izlaza ovisi o tipu i geometriji kablova kao i o postupku injektiranja i naknadnog injektiranja kablova.
- Ulazi i izlazi su obično smješteni na sljedećim položajima:
 - Ulazi i izlazi na sidrenim glavama i “couplers” spojnicama
 - Izlazi na ili blizu najviše točke kabela, ako je razlika između najviše i najniže točke veća od 0,5 .
 - ulazi na najnižoj točki kablova koji su jako nagnuti, vertikalni ili zakrivljeni i ulazi na specifičnim točkama kada se injektira u fazama.

PREDOSTROŽNOSTI PRIJE INJEKTIRANJA

- Ovisno o metodi instalacije žica, možda će biti potrebno osigurati da oplata, otvori, ulazi i izlazi mogu prihvatiti injektiranje. Ovo se provodi propuhivanjem sistema suhim zrakom.
- Ako postoji voda u kabelu, treba je ukloniti. U tu svrhu mogu se upotrijebiti izlazi na najnižoj točki i komprimirani zrak. Posljedice vode preostale u kabelu moraju se razmotriti da bi se odabrao odgovarajući postupak injektiranja.

- Postupak injektiranja mora osigurati potpuno punjenje oplata. Oplata se injektira kontinuiranom i stalnom brzinom koja mora biti dovoljno mala da spriječi izdvajanje vode iz morta u točkama gdje je protok smanjen.
- Zakrivljeni kablovi se injektiraju od najniže točke ako je maksimalno skretanje veće od 1,5 m .

POSTUPCI INJEKTIRANJA

- Mort koji nije s odgođenim vezanjem treba upotrijebiti 30 minuta nakon miješanja. Vremensko ograničenje je posebno važno kada mort za injektiranje sadrži dodatak za bubrenje.
- **OPASKA** : Maksimalna duljina injektirana odjednom ne treba biti veća od 50 m.

- Normalno brzina injektiranja varira od 5 do 15 m u minuti. Općenito se kablovi injektiraju od najnižeg ulaza.
- Injektiranje se nastavlja dok je protočnost morta za injektiranje na izlazima ista kao i mort koji se injektira. Izlazi se postupno zatvaraju kako injektiranje napreduje.
- Poslije završetka injektiranja nenamjieran gubitak morta za injektiranje iz kabela treba spriječiti.

PREDOSTROŽNOSTI NAKON INJEKTIRANJA

- Sidrene glave, otvori i drugi metalni dijelovi koji će trajno ostati ugrađeni trebaju biti zaštićeni od korozije i ulaženja vode ili drugih agresivnih tvari.

KONTROLA KVALITETE

- Kontrola kvalitete se sastoji od:
 - unutarnje kontrole provedene od strane izvođača prema pravilima ustanovljenim od strane naručitelja ili odgovornog projektanta
 - vanjske kontrole vršene od strane nezavisne organizacije da provjeri rezultate unutarnje kontrole.
 - Mogu se tražiti i dodatni postupci provjere od strane naručitelja ili odgovornog projektanta.

■ **Sastojci**

- Treba provjeriti da se koriste samo oni sastojci koji su u skladu s Evropskim normama (vidi EN 447, točka 4) ili s European Technical Approvals

■ **Oprema**

- Oprema se ocjenjuje kako slijedi:
 - Provjera i ocjena opreme za injektiranje i kvalifikacije osoblja od strane odgovornog projektanta,
 - nadzor i ocjena instalacija za injektiranje od strane odgovornog projektanta.

Ispitivanje morta za injektiranje provodi se:

- prije početka prednapinjanja (minimalno 24 sata) i - slijedećom minimalnom učestalošću ispitivanja u tijeku injektiranja:
- - bleeding - 2 ispitivanja na dan. Jedan uzorak se uzima na miješalici i jedan na izlazu kabela kada mort na tom mjestu ima zadovoljavajuću vrijednost protočnosti
- volumne deformacije - 1 ispitivanje na dan
- čvrstoća - 1 ispitivanje u 7 dana ili minimalno 2 ispitivanja po prednapinjanju, uzima se što je veće
- protočnost - 3 ispitivanja u 8 sati
- kada se pojavi značajna promjena u izvoru opskrbe sastojcima.

■ Injektiranje

- Efikasnost injektiranja se treba provjeriti odgovarajućim načinima.
- Treba provoditi vizuelnu kontrolu kod sidrenih glava kao i kod srednjih ulaza i izlaza.
- U nekim slučajevima mogu biti potrebni nerazorni pregledi kablova.

Pumpe i mješalice



Grout Pump and Mixer, with external power



Manual Grout Pump

Mješalica za injekcijsku smjesu



PREDNAPINJANJE I INJEKTIRANJE TEMELJNOG PRSTENA NA DVORANI VIŠNJIK



PREDNAPINJANJE I INJEKTIRANJE TEMELJNOG PRSTENA NA DVORANI VIŠNJIK



PREDNAPINJANJE I INJEKTIRANJE TEMELJNOG PRSTENA NA DVORANI VIŠNJIK



PREDNAPINJANJE I INJEKTIRANJE TEMELJNOG PRSTENA NA DVORANI VIŠNJIK



PREDNAPINJANJE I INJEKTIRANJE TEMELJNOG PRSTENA NA DVORANI VIŠNJIK



PREDNAPINJANJE I INJEKTIRANJE TEMELJNOG PRSTENA NA DVORANI VIŠNJIK



PREDNAPINJANJE I INJEKTIRANJE TEMELJNOG PRSTENA NA DVORANI VIŠNJIK



PREDNAPINJANJE I INJEKTIRANJE TEMELJNOG PRSTENA NA DVORANI VIŠNJIK



PREDNAPINJANJE I INJEKTIRANJE TEMELJNOG PRSTENA NA DVORANI VIŠNJIK



PREDNAPINJANJE I INJEKTIRANJE TEMELJNOG PRSTENA NA DVORANI VIŠNJIK



PREDNAPINJANJE I INJEKTIRANJE TEMELJNOG PRSTENA NA DVORANI VIŠNJIK



PREDNAPINJANJE I INJEKTIRANJE TEMELJNOG PRSTENA NA DVORANI VIŠNJIK



PREDNAPINJANJE I INJEKTIRANJE TEMELJNOG PRSTENA NA DVORANI VIŠNJIK



PREDNAPINJANJE I INJEKTIRANJE TEMELJNOG PRSTENA NA DVORANI VIŠNJIK



PREDNAPINJANJE I INJEKTIRANJE TEMELJNOG PRSTENA NA DVORANI VIŠNJIK



PREDNAPINJANJE I INJEKTIRANJE TEMELJNOG PRSTENA NA DVORANI VIŠNJIK



PREDNAPINJANJE I INJEKTIRANJE TEMELJNOG PRSTENA NA DVORANI VIŠNJIK



INJEKTIRANJE PUKOTINA

Injektiranje je zatvaranje pukotine masom za zapunjavanje, koja se može ugrađivati gravitacijski ili pod pritiskom.

- **Tipična oštećenja**

- Kroz pukotine je počela prodirati voda pod visokim tlakom, a sve zbog visoke razine podzemne vode na prostoru građevne jame



- Uzroci pojave pukotina i prodiranja vode leže u neadekvatnom projektiranju i izvođenju konstrukcije podzemnih etaža centra:
- Nije postignuta vodonepropusnost dijafragme zbog iznimno jakih tokova i pritisaka podzemne vode
- Neispravna ugradnja traka za radne reške pri prekidima betoniranja



Sanacije betonskih zidova injektiranjem polimernih materijala

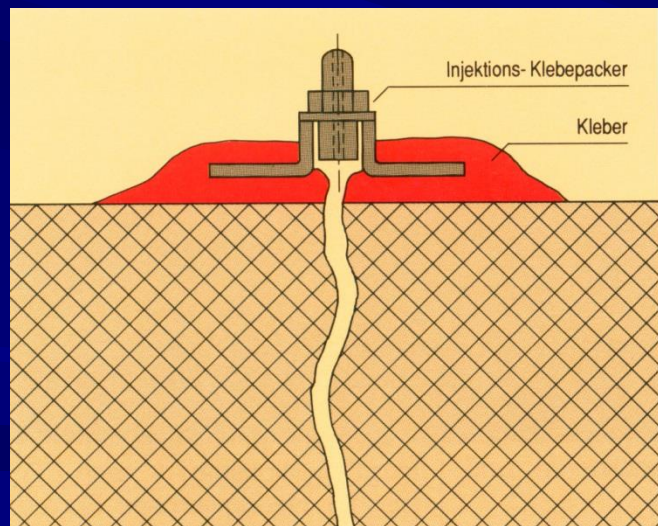
- Pukotine u armiranom betonu veće od cca 0,3 mm zahtijevaju injektiranje kako bi se spriječio prodor vode i vlage, zraka i drugih materijala ili iz estetskih razloga
- Injektiranje se vrši pod pritiskom i to niskoviskoznim smolama i pjenama na bazi epoksida ili poliuretana
- Materijali koji su dokazano najučinkovitiji u sanaciji pukotina u betonu su:
 - **Dvokomponentne epoksi ili poliuretanske smole**
 - **Poliuretanska elastomerična pjena**

Sanacije betonskih zidova injektiranjem polimernih materijala

- Postoji više načina saniranja pukotina polimernim materijalima:
 - 1) Bestlačni postupak sanacije –
 - 2) Niskotlačno injektiranje (< 10 bara)
 - 3) Visokotlačno injektiranje (> 10 bara)
- Kod bestlačnog postupka, saniranje se sastoji od lijevanja ili premazivanja sanacionog materijala preko betonske površine
- Ovaj materijal ulazi u pukotine i širi se uz pomoć kapilarne sile

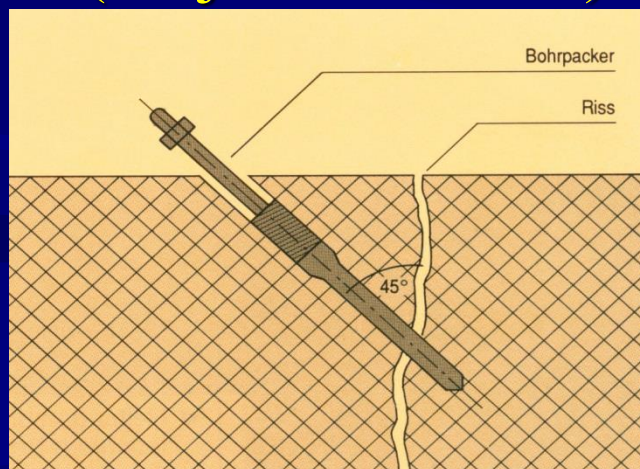
Niskotlačno injektiranje (< 10 bara)

- Za sanacije manjih oštećenja betonskih konstrukcija
- Uključuje upotrebu površinskih pakera koji se stavljaju direktno na površinu pukotine
- Injektiranje se vrši posebnim ručnim injektornim pištoljem



Visokotlačno injektiranje (> 10 bara)

- Kod građevina koje imaju vrlo debele zidove (npr. brane) ili slučajeva koji zahtijevaju zaustavljanje velikih volumena vode, potrebno je primijeniti visokotlačno injektiranje
- Ova metoda koristi injekcione pakere koji se obično stavljaju u izbušene rupe pod kutom od 45° kako bi se presjekla unutrašnjost pukotine
- Injektiranje materijala vrši se pumpama za injektiranje (strojnim ili ručnim)



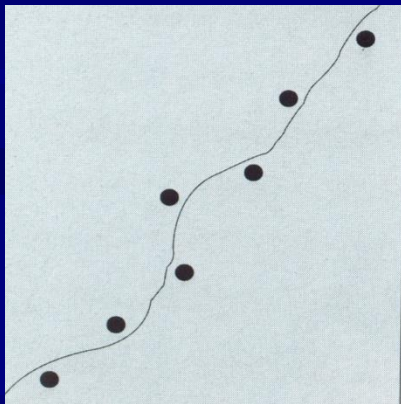
Primjer sanacije postupkom visokotlačnog injektiranja zbog velike mase podzemne vode koja je pritiskala zidove i prodirala kroz pukotine

Za sanaciju su korišteni sljedeći materijali:

- **dvokomponentna injekciona pjena na poliuretanskoj bazi za trenutno zaustavljanje tlačne vode**
- **dvokomponentna injekciona smola na poliuretanskoj bazi za elastično brtvljenje pukotina i šupljina**

Postupak sanacije

- Prije sanacije pregledati oštećena mjesta na građevini
- Oštećena mjesta očistiti od onečišćenja
- Pakere za injektiranje postaviti naizmjenično duž cijele pukotine u prethodno izbušene rupe
- Kod velikih pritisaka vode prethodno se injektira pjenom, a nakon toga pukotina se trajno zabrtvljuje smolom
- Injektiranje se vrši pod kontroliranim pritiskom sve dok injekcioni materijal ne počne izlaziti kroz susjedno postavljene pakere



- Raspored pakera treba projektirati prema širini i dubini pukotine, vrste i viskozitetu injekcijske mase i temperature okolice.
- Injektiranje treba početi na najnižem pakeru ili na pakeru na mjestu najvećeg otvora u pukotini i napredovati na više ili prema zonama manjeg otvora.
- Radni tlak se može kretati od 0.5 do 5 bara, što ovisi o vrsti pukotine.
- Završni injekcijski tlak, ukoliko to položaj pukotine u konstrukcijskom elementu dozvoljava, mora iznositi 5 bara.

- Taj tlak na zadnjem pakeru u pukotini, kao i na svakom drugom pakeru iz kojeg masa ne prodire na druge pakere, ni van pukotine, treba držati 15 min.
- Svi priključeni pakeri moraju imati mogućnost brtvljenja bez pada pritiska u zainjektiranom dijelu pukotine.

Postupak sanacije

- Nakon 48 sati, ako je sanacija dobro provedena, ispuna otvrdne, a vlage na oštećenom mjestu više nema te se može zaključiti da je sanacija uspješna
- Pakeri se mogu odstraniti, a rupe od bušenja ispuniti specijalnim mortom



Postupak sanacije



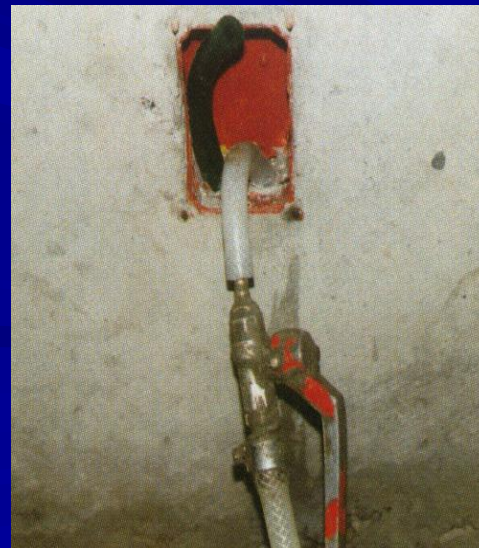
Brtvljenje radnih reški pomoću injekcionih crijeva

- Alternativan način izvedbe vodonepropusnih radnih spojeva je ugradnja u oplatu injekcionih crijeva koja prolaze cijelom dužinom radnog prekida
- Ugrađena neoprenska crijeva su perforirana i kroz njih se nakon ugradnje betona i njegova očvrsnuća injektiranjem upušta, unutar radnog prekida, injekciona smola ili pjena pod tlakom
- Upuštena smola ili pjena ulazi u sve pore i pukotine radnih spojeva i zapunjava i čini ih vodonepropusnim



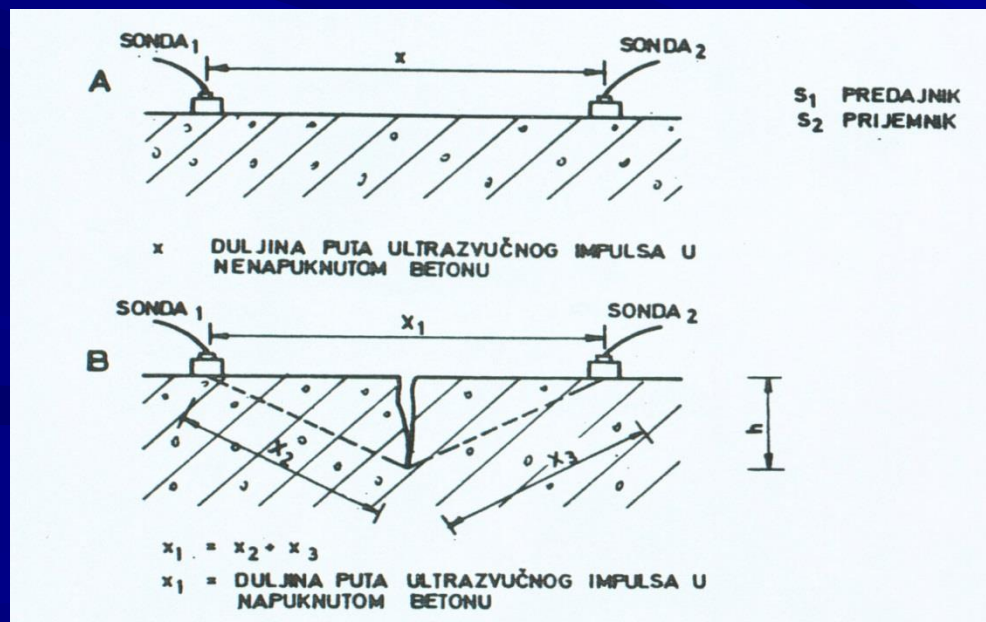
Brtvljenje radnih reški pomoću injekcionih crijeva

- Injektiranje se vrši kroz spojne kutije koje se postavljaju na jednakom razmaku
- Ugrađuju se u oplatu i zid tako da je pristup crijevu uvijek omogućen, za vrijeme ugradnje betona i naknadno
- Pri injektiranju koriste se isti postupci i materijali kao i kod injektiranja pukotina

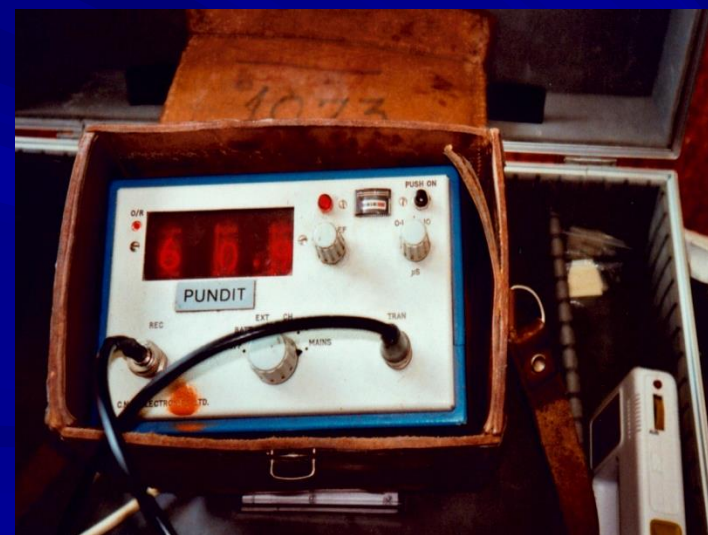
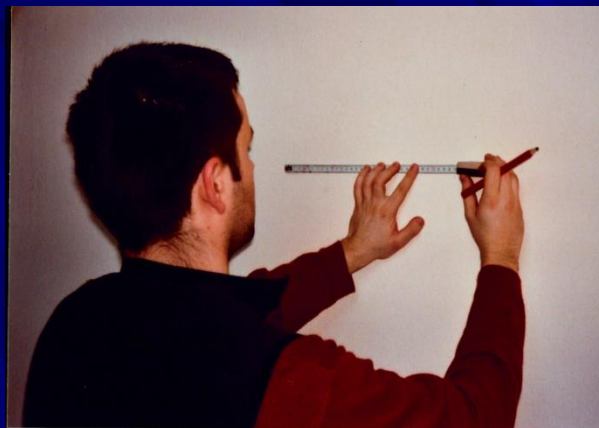


Procjena uspješnosti sanacije pukotina

- Procjenu uspješnosti sanacije pukotina može se odrediti nerazornim mjerenjem, ultrazvukom
- Ultrazvuk se koristi za određivanje vidljivih pukotina ili ocjenu uspješnosti sanacije pukotina, a najčešće se primjenjuje metoda površinskog prolaza impulsa kroz beton



Procjena uspješnosti sanacije pukotina



Procjena uspješnosti sanacije pukotina

- Postupak ocjene uspješnosti sanacije provodi se na temelju Studentovog t -testa, i to prema izrazu:

$$t_{S-NN} = \frac{\bar{V}_{NN} - \bar{V}_S}{\bar{s} \sqrt{\frac{1}{n_{NN}} + \frac{1}{n_S}}}$$

- gdje je:
- t_{S-NN} – varijabla Studentove t -raspodjele uz stupnjeve slobode $\nu = n_{NN} + n_S$
- \bar{V}_{NN} , \bar{V}_S - srednje vrijednosti brzine ultrazvuka nenapuknutog i saniranog betona (m/s)
- n_{NN} , n_S – broj elemenata statističkih uzoraka
- s - zajednička standardna devijacija za oba statistička uzorka (m/s)

Procjena uspješnosti sanacije pukotina

- Signifikantnost razlike srednjih vrijednosti testira se uz 90% pouzdanosti
- Uspješnost sanacije ocjenjuje se usporedbom vrijednosti varijable t_{S-NN} Studentovog t-testa za sanirani i nenapuknuti beton
- Prema rezultatima ispitivanja ultrazvuka na konstrukciji i provedenoj ocjeni sanacije injektiranjem pomoću Studentova t-testa može se zaključiti da je sanacija pukotina injektiranjem uspješno obavljena na 49 od 50 pozicija armiranobetonskih zidova ili 98% mjerenih pozicija

Injektiranje cementnim masama koje bubre ili finim polimer cementnim mortovima

- Postupak injektiranja masama koje bubre ili finim polimer cementnim mortovima je u osnovi isti kao i kod injektiranja polimernim smolama, samo se u ovom postupku primjenjuje oprema prilagođena upotrebljavanom materijalu, a to znači na pr. prilagodba otvora dizne maksimalnom zrnju punila ili morta.

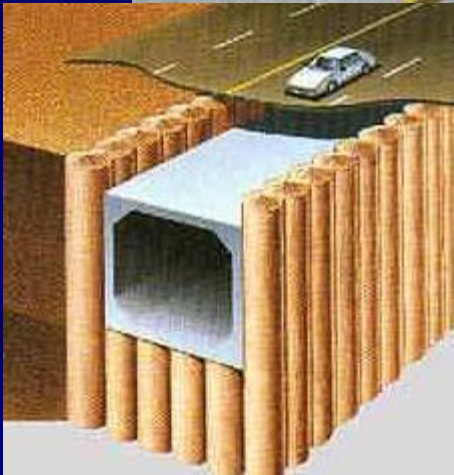




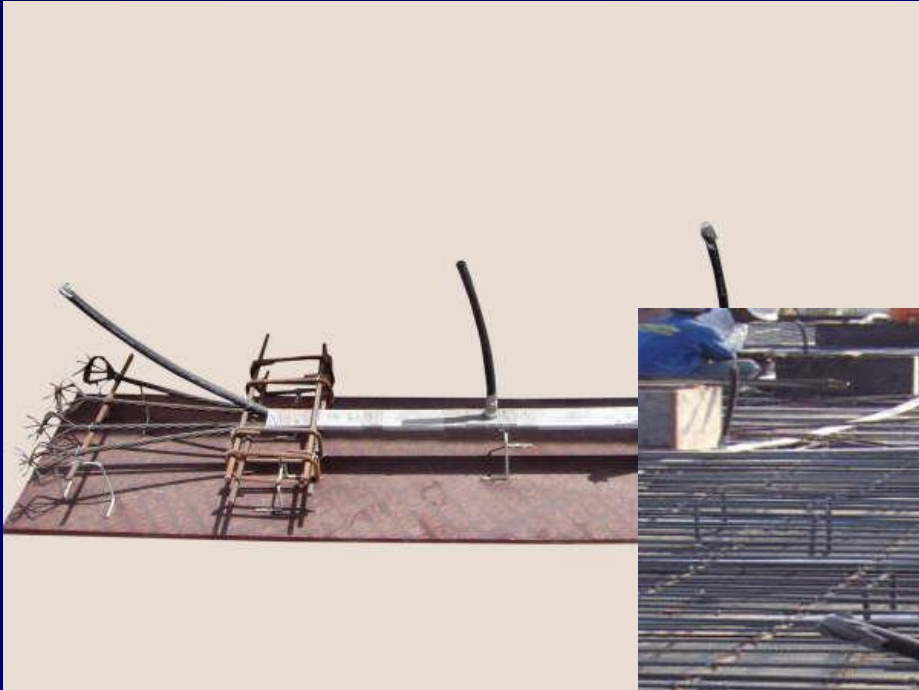












Injektiranje zidova hvarskog kazališta

