



DUBOKO ZBIJANJE

Prof. dr. sc. Biljana Kovačević Zelić

METODE

- prethodno opterećenje (*eng. precompression*)
- primjena eksploziva
- dinamička konsolidacija (*eng. heavy tamping*)
- vibracijsko zbijanje
- kompakcijsko injektiranje (*eng. compacting grouting*)

Uspješnost primjene ovih metoda ovisi o:

- vrsti tla (granulometrijski sastav, postotak sitnih čestica),
- stupnju zasićenosti i RPV,
- početnoj gustoći tla,
- in-situ stanju naprezanja,
- strukturi tla

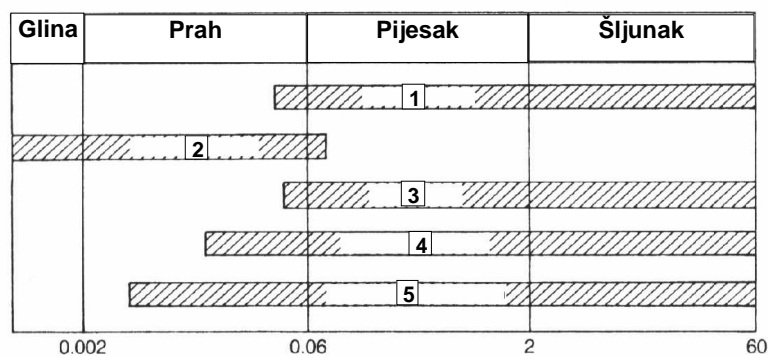
Kod koje vrsta tla je važnija vlažnost, a kod koje granulost i struktura?



Sveučilište u Zagrebu
 RUDARSKO
 GEOLÓŠKO
 NAFTNI FAKULTET

3

Primjenjivost metoda dubokog zbijanja u raznim vrstama tla



1-vibracijska flotacija, 2-kameni stupci, 3-eksploziv,
4-zbijeni piloti, 5-dinamičko zbijanje



Sveučilište u Zagrebu
 RUDARSKO
 GEOLÓŠKO
 NAFTNI FAKULTET

4

Mehanizam djelovanja

NEKOHERENTNA TLA

- razbijanje početne strukture
- inducirana likvefakcija
- povećanje poreznog tlaka
- smanjenje čvrstoće
- lom materijala
- stabilno stanje veće gustoće

DJELOMIČNO ZASIĆENA TLA

- kolaps početne strukture tla
- izlazak zraka iz pora
- stabilno stanje veće gustoće



Sveučilište u Zagrebu
 RUDARSKO
 GEOLožKO
 NAFTNI FAKULTET

5

PRETHODNO OPTERECENJE

Predopterećenje

Snizavanje RPV

PRIMJENA - koherentna tla - dugotrajna konsolidacija

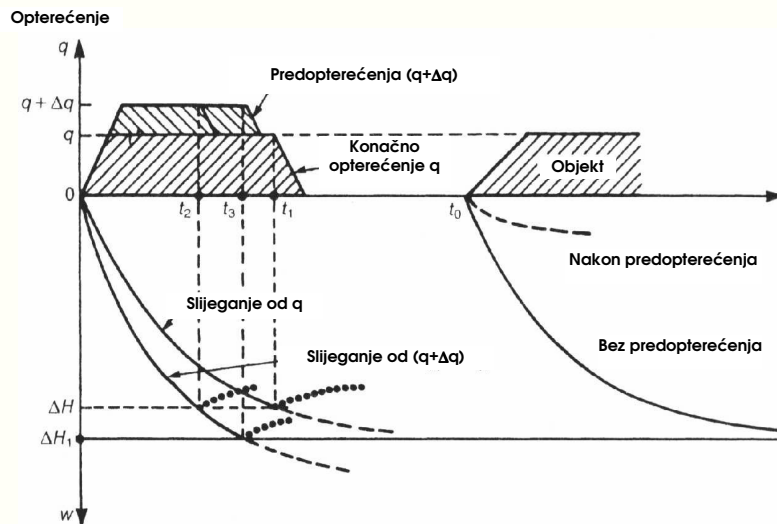
- stišljivi prahovi
- saturirane stišljive gline
- organske gline
- treset



Sveučilište u Zagrebu
 RUDARSKO
 GEOLožKO
 NAFTNI FAKULTET

6

Predopterećenje



Primjena eksploziva

PROCEDURA:

- bušenje
- punjenje bušotina eksplozivom
- zapunjavanje bušotina
- detoniranje po određenom rasporedu paljenja

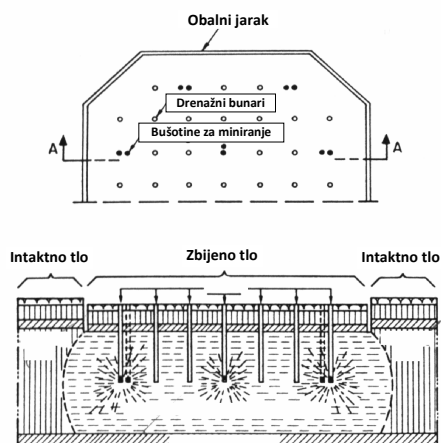
PRIMJENA:

zasićeni "čisti" pijesci

Iskustveni podaci

- potrebno punjenje: 1–12 kg
- dubina paljenja: $> \frac{1}{4}$ dubine do dna sloja koji se zbija (uobičajeno je $\frac{1}{2}$ - $\frac{3}{4}$ dubine)
- razmak bušotina: 5-15 m
- broj uzastopnih postupaka: 1-5 (uobičajeno 2-3) u razmaku od nekoliko sati ili dana,
- ukupne količine eksploziva: 8-150 g/m³ (uobičajeno 10-30 g/m³)
- slijeganje na površini terena: 2-10% debljine sloja

Tehnika hidro-miniranja



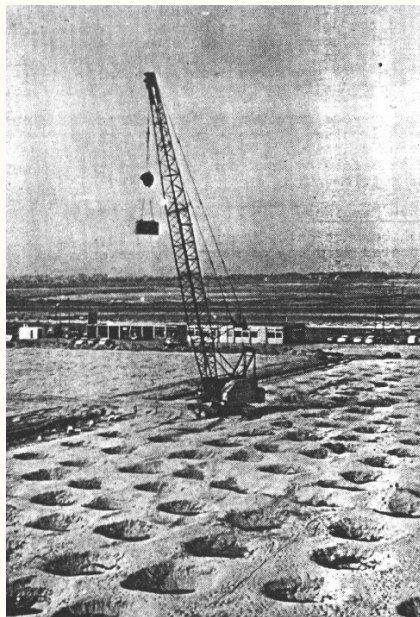
Dinamička konsolidacija

- masa malja do 170 t,
- visina pada do 22 m,
- efekt zbijanja dubine do 40 m,
- razmak do 14 m.



Sveučilište u Zagrebu
 RUDARSKO
 GEOLožKO
 NAFTNI FAKULTET

11



Dinamičko zbijanje

Procjena dubine D [m] do koje se ostvaruju efekti zbijanja:

$$D=0,5 \sqrt{(W H)}$$

W - masa malja [t]

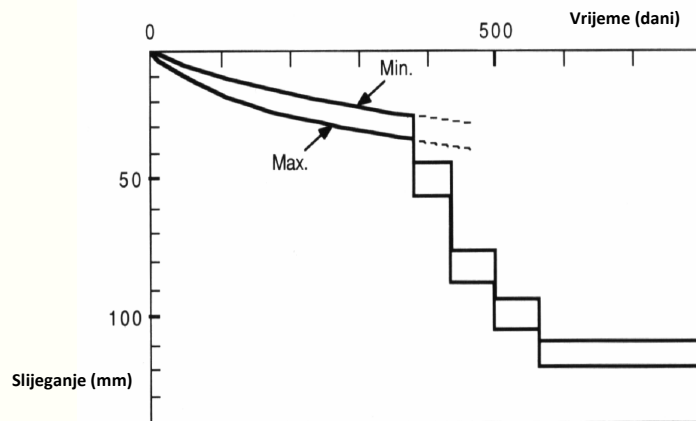
H - visina pada [m]



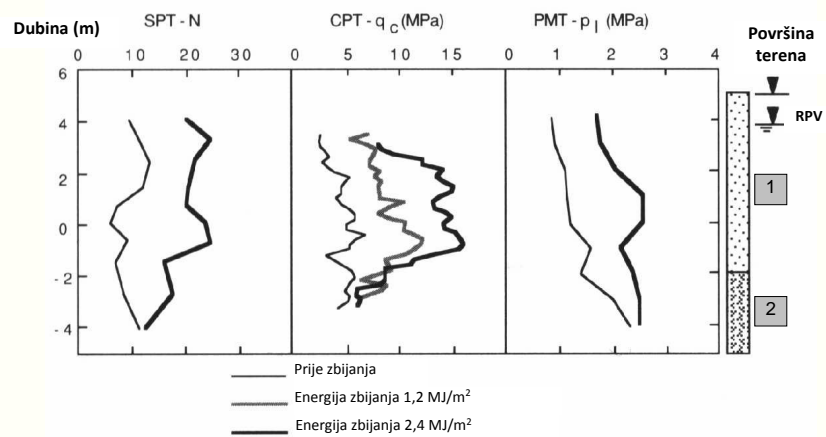
Sveučilište u Zagrebu
 RUDARSKO
 GEOLožKO
 NAFTNI FAKULTET

12

STATIČKO OPTEREĆENJE + DINAMIČKO ZBIJANJE



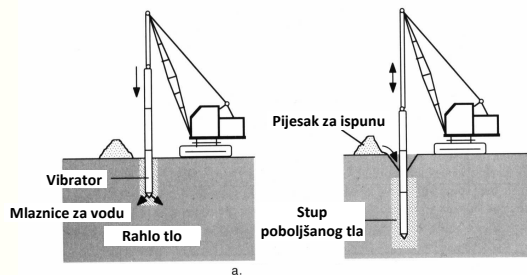
Uspješnost dinamičkog zbijanja



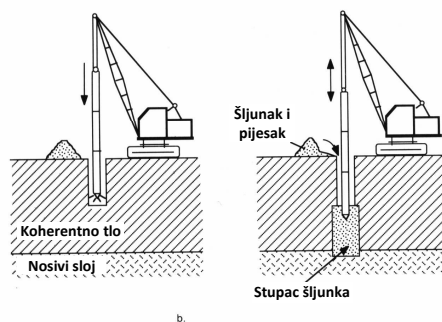
1 – SM s 10-20 % sitnih čestica, 2 – SM s 30-50 % sitnih čestica

Vibracijsko zbijanje

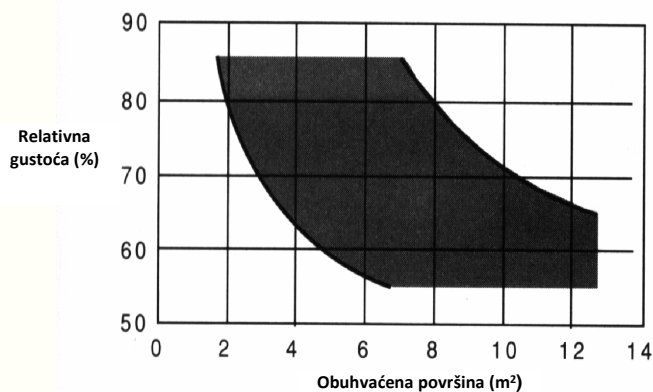
a) Vibracijsko zbijanje



b) Vibracijsko zbijanje sa zamjenom materijala



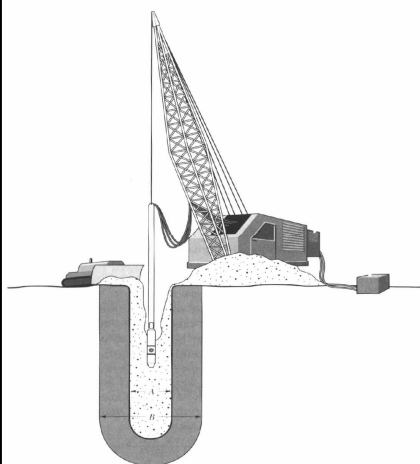
Ovisnost postignute relativne gustoće o rasporedu bušotina



Primjenjivost metoda dubokog zbijanja u nekim materijalima

Vrsta tla	Vibro-zbijanje	Vibro-zbijanje sa zamjenom materijala
pijesak	vrlo dobro	ne primjenjuje se
prašnasti pijesak	dobro	vrlo dobro
prah	slabo	dobro
glina	ne primjenjuje se	dobro
rudnički mulj	dobro	vrlo dobro
otpad	ne primjenjuje se	ne primjenjuje se

Osnovna oprema potrebna za vibroflotaciju



Metoda razvijena u Njemačkoj
vibracija u horizontalnom smjeru

DIMENZIJE VIBRATORA:

promjer 350-450 mm

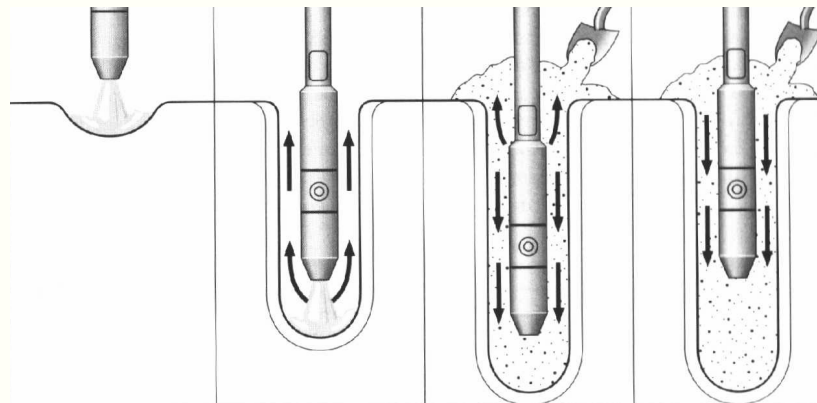
duljina oko 5 m

težina oko 20 kN

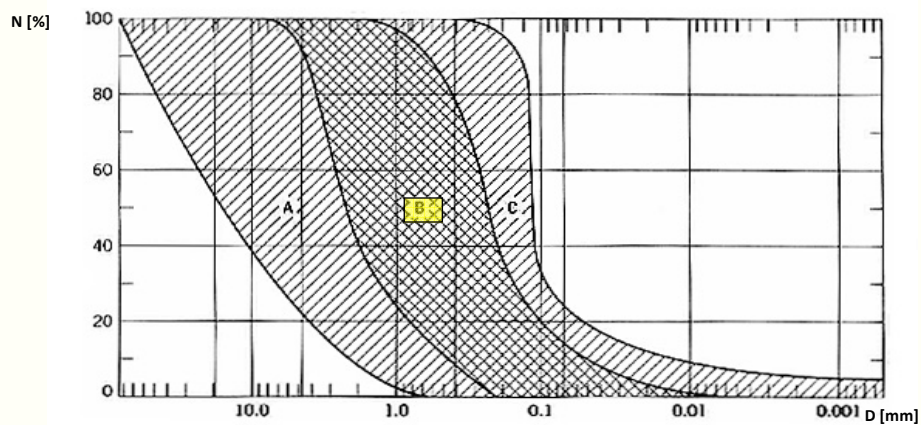
Frekvencija 30-50 Hz

Poboljšanje se postiže 1,5-4 m
oko vibratora ovisno o vrsti tla

Vibroflotacija - detalj



Tla pogodna za vibroflotaciju

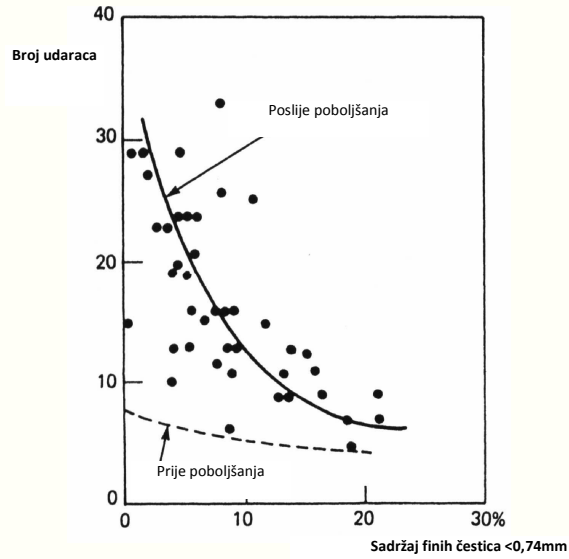


Najbolji rezultati postižu se u rahlim pijescima (Zona B)

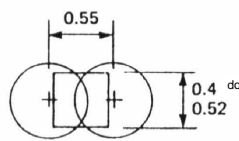
Zona C: teže se postižu dobri efekti zbijanja,

Zona A: materijali kod kojih je brzina prodiranja mala a mogu se očekivati i problemi u provođenju radova zbog velikih čestica.

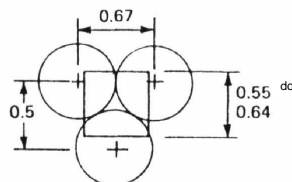
Uspješnost vibroflotacije



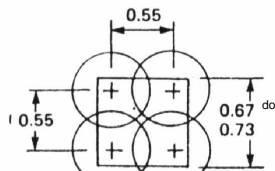
Tipični rasporedi bušotina



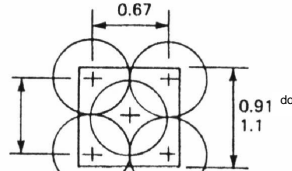
Za kvadratične temelje od 1,3-1,7 m



Za kvadratične temelje od 1,8-2,1 m



Za kvadratične temelje od 2,2-2,9 m



Za kvadratične temelje od 3,0-3,5 m