



Sveučilište u Zagrebu
RUDARSKO
GEOLOŠKO
NAFTNI FAKULTET



DIMENZIONIRANJE VALJKASTIH TIJELA MLAZNO INJEKTIRANOG TLA

Prof. dr. sc. Biljana Kovačević Zelić

INJEKTIRANO TIJELO - NOSIVI STUP U TLU

- Osnovni konstruktivni element
- Osnovni parametri su:
 - duljina
 - promjer
 - čvrstoća
 - vodopropusnost
 - modul elastičnosti i dr.
- Parametri injektiranog tijela su približni - treba ih izvedbom probnog polja potvrditi



Sveučilište u Zagrebu
RUDARSKO
GEOLOŠKO
NAFTNI FAKULTET

DULJINA INJEKTIRANOG TIJELA

- ovisi o raspoloživoj tehnologiji (bušilici)
- iznosi 20-30 m
- poznata najveća duljina 70 m



Sveučilište u Zagrebu
 RUDARSKO
 GEOLožKO
 NAFTNI FAKULTET

PROMJER INJEKTIRANOG TIJELA

- ovisi o
 - vrsti tla
 - primijenjenoj tehnologiji (broj fluida)

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
polučvrsta do čvrsta	45 – 50
organsko tlo i nasip	vrlo promjenjivo (do 100)



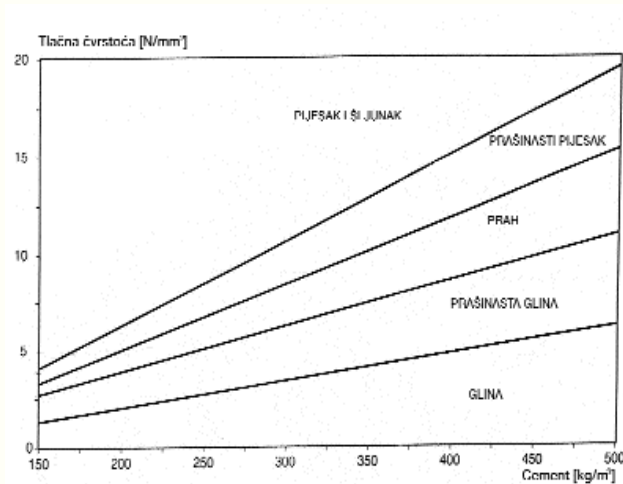
Sveučilište u Zagrebu
 RUDARSKO
 GEOLožKO
 NAFTNI FAKULTET

ČVRSTOĆA

jednoosne tlačne čvrstoće injektiranog tijela:

- šljunak do 20,0 N/mm² (20,0 MN/m²)
- Pijesak do 15,0 N/mm² (15,0 MN/m²)
- prah i glina . . . do 8,0 N/mm² (8,0 MN/m²)
- organsko tlo . . do 3,0 N/mm² (3,0 MN/m²)

Odnos čvrstoće i količine cementa ugrađenog u odgovarajući volumen tla



VODOPROPUSNOST I MODUL ELASTIČNOSTI

- $k = 10^{-7}$ do 10^{-9} m/s
- Moduli elastičnosti valjaka mlazno injektiranog tla iznose približno :
 - u šljunku 10000 - 15000 MN/m²
 - u pijesku 7000 - 10000 MN/m²
 - u prahu i glini 4000 - 5000 MN/m²
 - u organskom tlu 1500 - 3000 MN/m²

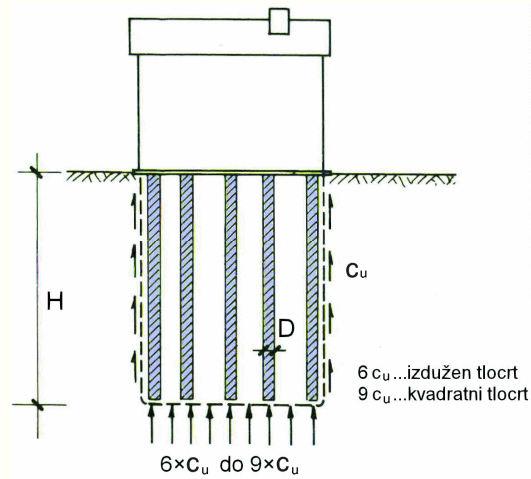


GEOSTATIČKE ANALIZE

ANALIZA KONSTRUKCIJE POBOLJŠANJA TLA VERTIKALNIM STUPOVIMA

Meko tlo u podlozi – stišljiva glina

grupa mlazno injektiranih stupova = ojačani blok tla



Sveučilište u Zagrebu
 RUDARSKO
 GEOLOŠKO
 NAFTNI FAKULTET

Nosivost pojedinog stupa injektiranog tla

$$Q_{max}^{st} = (\pi \cdot d \cdot H + 9 \cdot \frac{\pi \cdot D^2}{4}) \cdot c_u$$

D – promjer stupa injektiranog tla

H – duljina stupa

c_u – prosječna nedrenirana posmična čvrstoća meke gline određena krilnom sondom.

Dozvoljeno opterećenje pojedinog stupa je:

$$Q_{dop}^{st} = \frac{Q_{max}^{st}}{F_s} \quad F_s = 1,5 - 3,0$$



Sveučilište u Zagrebu
 RUDARSKO
 GEOLOŠKO
 NAFTNI FAKULTET

Nosivost baze q_{st}

$$q_{st} = \frac{Q_{st}}{A_{st}} = \frac{q}{\alpha + \frac{E_{tla}}{E_{st}} (1 - \alpha)}$$

gdje je:

$$q = \frac{W_g}{B \cdot L} - \text{prosječno opterećenje objekta}$$

W_g - ukupna težina objekta

B - širina objekta

L - duljina objekta

α - omjer površine stupova ($n \cdot A_{st}$) i ukupne površine objekta ($B \cdot L$)

$$\alpha = \frac{n \cdot A_{st}}{B \cdot L}$$

E_{tla} - modul elastičnosti tla ($\sim 0,75 \cdot M_s$)

E_{st} - modul elastičnosti građe injektiranog stupa tla.



Sveučilište u Zagrebu
 RUDARSKO
 GEOLožKO
 NAFTNI FAKULTET

Nosivost kod glinovitog tla

$$\frac{Q_{st}^{baze}}{A_{st}} = 9 \cdot c_u$$

Prosječna veličina otpora trenja po plaštu (uz zanemarenje nosivosti baze bloka) iznosi

$$\tau = \frac{W_g}{2(B + L) \cdot H} \leq \frac{c_u}{F_s}$$

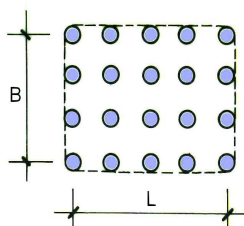
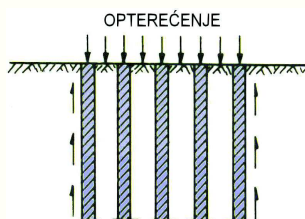


Sveučilište u Zagrebu
 RUDARSKO
 GEOLožKO
 NAFTNI FAKULTET

Opterećenje po plaštu bloka

U slučaju $F_s = 1,5$:

$$\frac{H}{B} \geq \frac{0,75 \cdot \frac{q}{c_u}}{\left(\frac{B}{L} + 1,0\right)}$$



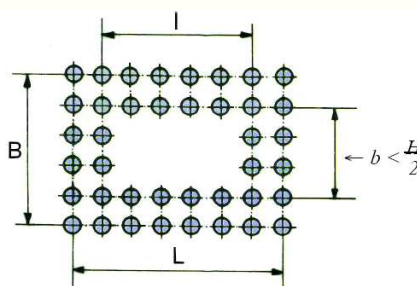
Sveučilište u Zagrebu
 RUDARSKO
 GEOLÓŠKO
 NAFTNI FAKULTET

Stupovi koncentrirani duž zone izraženijih opterećenja

Kako je opterećenje veće uz rubove objekta nego u središtu, preporučljivo je koncentrirati stupove po obodu

Prazan prostor ne smije biti prevelik jer bi porasla diferencijalna slijeganja i mogao bi nastupiti lom konstrukcije.

Može se uzeti da taj otvor treba biti manji od pola duljine stupa.



Sveučilište u Zagrebu
 RUDARSKO
 GEOLÓŠKO
 NAFTNI FAKULTET

Model za proračun ukupnog slijeganja

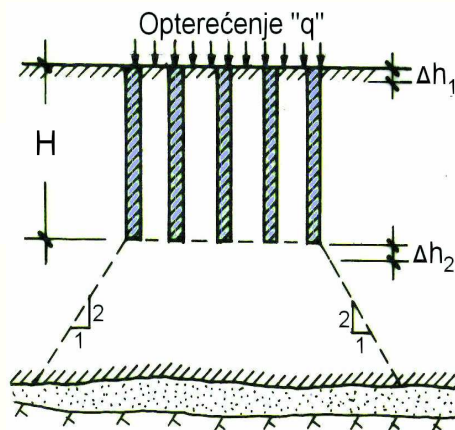
Komponente:

1. Slijeganje ojačanog bloka
2. Slijeganje zla ispod bloka

$$\Delta h_1 = \frac{q \cdot H}{\alpha \cdot E_{st} + (1 - \alpha) \cdot M_s}$$

$$\alpha = \frac{n \cdot A_{st}}{B \cdot L}$$

$$\beta = \frac{M_s}{\alpha \cdot E_{st} + (1 - \alpha) \cdot M_s}$$



Sveučilište u Zagrebu
 RUDARSKO
 GEOLožKO
 NAFTNI FAKULTET

Diferencijalno slijeganje

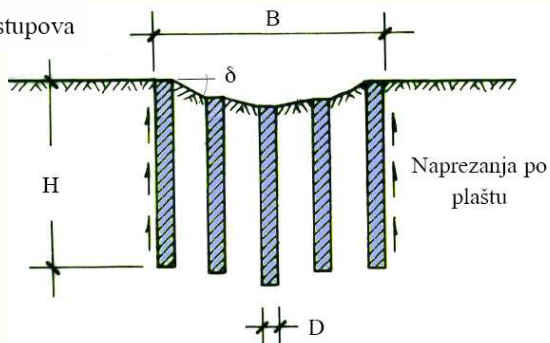
$$G_{sred} = \frac{B}{B - m \cdot D} \cdot G_{tl} = \frac{l}{l - \frac{m \cdot D}{B}} \cdot G_{tl}$$

m – broj redova stupova

D – promjer injektiranih stupova tla

B – širina plohe opterećenja

G_{tl} – modul posmika tla između stupova



Sveučilište u Zagrebu
 RUDARSKO
 GEOLožKO
 NAFTNI FAKULTET

Stabilizacija klizišta stupovima injektiranog tla

$$c_{sred} = c_u \cdot (1 - \alpha) + \alpha \cdot c_{st}$$

c_u – posmična nedrenirana čvrstoća tla (određena krilnom sondom)

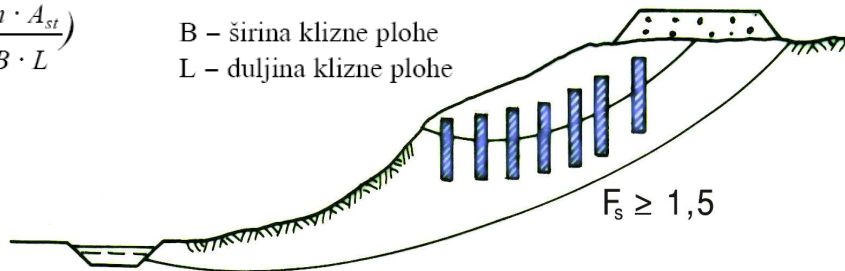
c_{st} – srednja posmična čvrstoća građe stupa injektiranog tla

α – relativna površina stupova injektiranog tla

$$\left(\alpha = \frac{n \cdot A_{st}}{B \cdot L} \right)$$

B – širina klizne plohe

L – duljina klizne plohe



Sveučilište u Zagrebu
RUDARSKO
GEOLOŠKO
NAFTNI FAKULTET



Sveučilište u Zagrebu
RUDARSKO
GEOLOŠKO
NAFTNI FAKULTET



IZVEDENI RADOVI

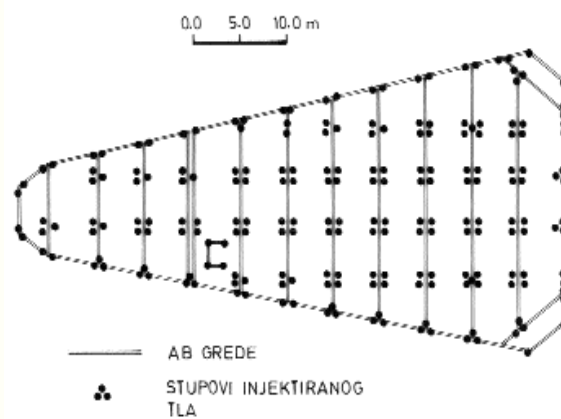
Poslovni objekt CENTAR III, Poreč Tlocrtna dispozicija temeljne konstrukcije

Temeljenje na mlazno injektiranim stupovima tla

Promjer stupova 60 cm

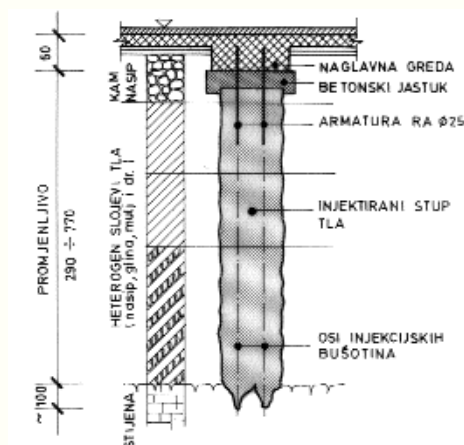
215 injekcijskih bušotina

ukupna duljina mlazno injektiranih stupova 1030 m



Sveučilište u Zagrebu
 RUDARSKO
 GEODIJSKO
 NAFTNI FAKULTET

Karakteristični presjek – PC Poreč



Sveučilište u Zagrebu
 RUDARSKO
 GEODIJSKO
 NAFTNI FAKULTET

HE DUBRAVA gradilište snimljeno u vrijeme poplave

Sanacija i osiguranje dna
kanala ulaznog dijela
derivacijskog kanala



Sveučilište u Zagrebu
 RUDARSKO
 GEODIJSKO
 NAFTNI FAKULTET

Sanacija brane na Mrežnici

Vododrživa zavjesa na
uzvodnom dijelu brane

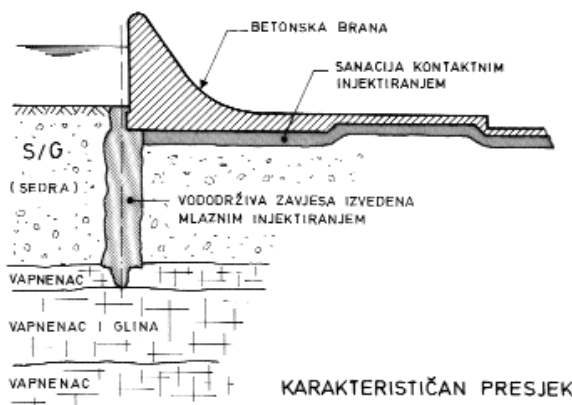
Brana stara 90 godina

oštećenja tijela brane i slapišta,
erozija temeljnog tla (sedra)
ispod brane i slapišta

Injekcijskih bušotina 65

Ukupna duljina mlazno
injektiranih tijela 500 m

Izmjereni promjeri injektiranih
tijela su 150-180 cm



Sveučilište u Zagrebu
 RUDARSKO
 GEODIJSKO
 NAFTNI FAKULTET

Trgovački centar TRŽNICA, Karlovac Karakteristični presjek vodonepropusne zavjese

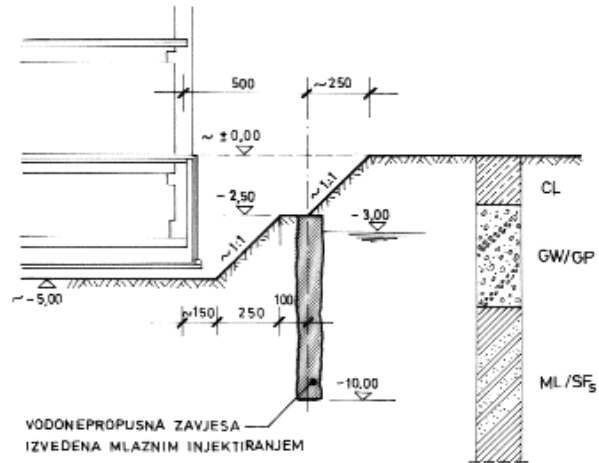
Vododrživa zavjesa za zaštitu
iskopa građevinske jame

Visoka RPV

Duljina zavjese 420 m

Injekcijskih bušotina 700

Ukupna duljina mlazno
injektiranih tijela 5250 m



Sveučilište u Zagrebu
 RUDARSKO
 GEODIJSKO
 NAFTNI FAKULTET

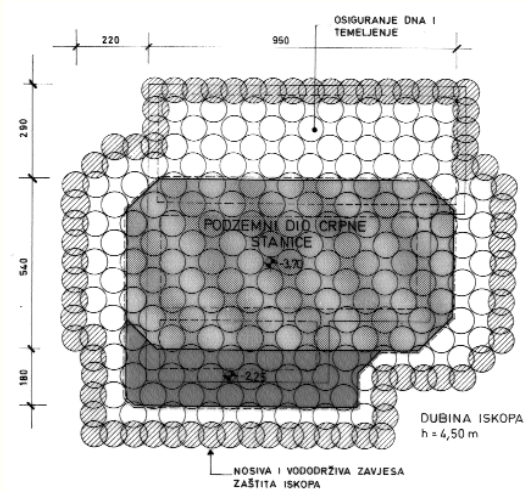
Crpna stanica CS -1, Metković Tlocrtna dispozicija mlazno injektiranih stupova tla

Zaštita građevinske jame i
temeljenje

Prilikom iskopa - hidraulički
lom tla

Injekcijskih bušotina 232

Ukupna duljina mlazno
injektiranih tijela 1310 m



Sveučilište u Zagrebu
 RUDARSKO
 GEODIJSKO
 NAFTNI FAKULTET

Crpna stanica Galдово na ušću Kupe u Savu, Sisak Izvedba radova sanacije temeljnog tla

Sanacija temeljnog tla ispod objekta crpne stanice

Problem ispiranja tla i slijeganja ispod jednog dijela građevine, oštećenje crpne stanice.

Temeljno tlo je ojačano mlaznim injektiranjem.

Naknadna mjerenja slijeganja su pokazala uspješnost zahvata.

Ukupno mlazno injektiranih stupova 88

Ukupna duljina mlazno injektiranih tijela 523 m



Sveučilište u Zagrebu
 RUDARSKO
 GEOLÓŠKO
 NAFTNI FAKULTET

Poslovno stambena zgrada ACM, Zagreb Karakterističan presjek zaštite

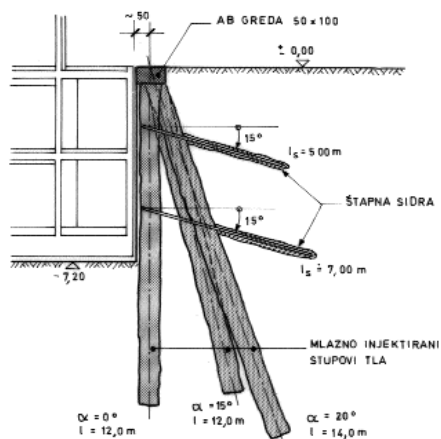
Zaštita iskopa građevinske jame

3 reda stupova, naglavna greda, 2 reda štapnih sidara

Postignuti promjeri mlazno injektiranih stupova su oko 70 cm u šljunkovitim slojevima, dok je u glinovitom tlu postignuto oko 60 cm.

Injekcijskih bušotina 626

Ukupna duljina mlazno injektiranih stupova 7561 m



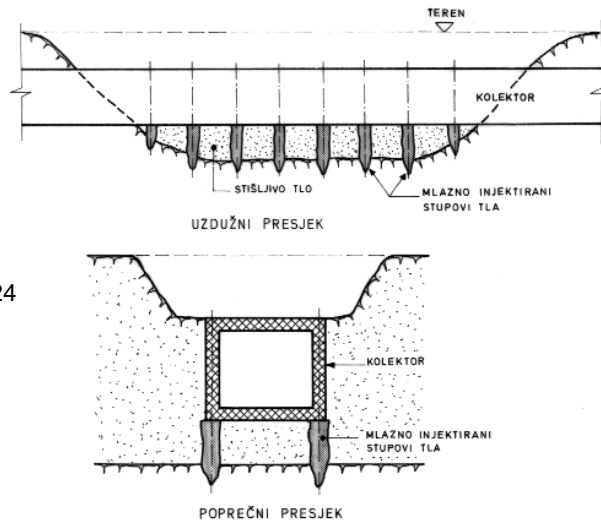
Sveučilište u Zagrebu
 RUDARSKO
 GEOLÓŠKO
 NAFTNI FAKULTET

Kolektor Solin Poprečni presjek osiguranja temeljenja

Osiguranje temeljenja kolektorske cijevi

Mlazno injektiranih stupova 24

Ukupna duljina mlazno injektiranih tijela 142 m



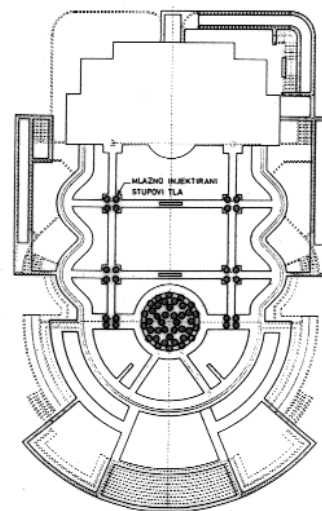
Sveučilište u Zagrebu
RUDARSKO
GEOLOŠKO
NAFTNI FAKULTET

Crkva sv. Kvirina, Sisak Tlocrtna dispozicija ojačanja temeljnog tla

Ojačanje temeljnog tla ispod tornja i glavnih nosivih stupova

Injekcijskih bušotina 64

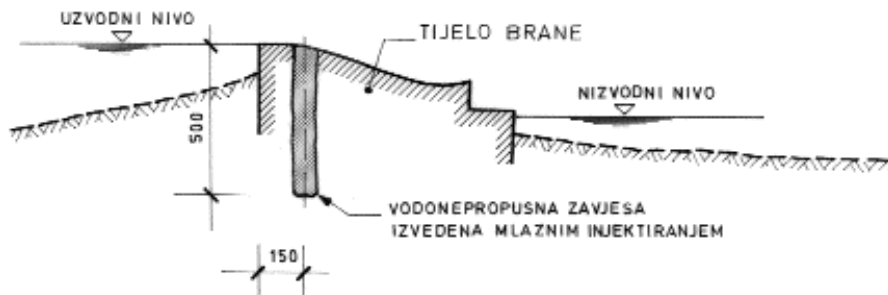
Ukupna duljina mlazno injektiranih tijela 520 m



Sveučilište u Zagrebu
RUDARSKO
GEOLOŠKO
NAFTNI FAKULTET

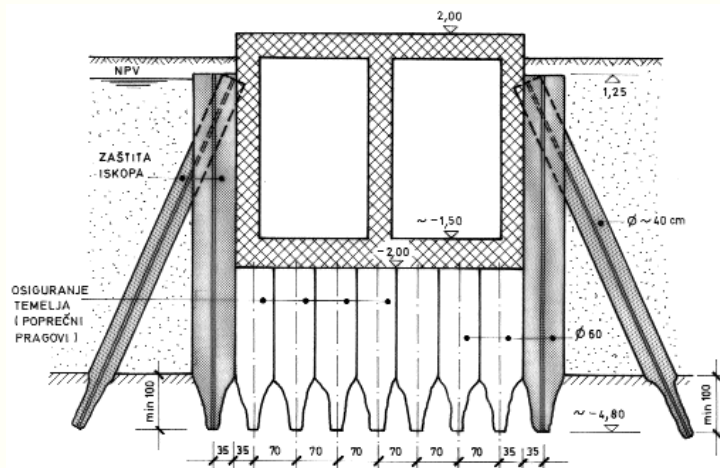
Brana Koranski slap Dispozicija zavjese u poprečnom presjeku

Vododrživa zavjesa duž tijela brane Koranskog slapa
Duljina zavjese bila je 150 m
Ukupna duljina mlazno injektiranih tijela 1500 m



Slapište JADRO, Solin - karakteristični presjek

Osiguranje iskopa i temeljenje slapišnog dijela kolektora



Stambeno poslovni objekt na Knežiji, Zagreb

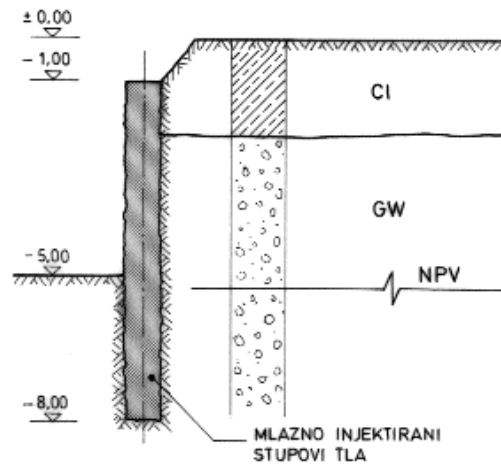
Za potrebe izvedbe 2-etažnog podrumskog dijela zgrade izvedena je zaštita iskopa i susjednih objekata mlaznim injektiranjem.

Ojačanje tla ispod jednog trakastog temelja

Duljina zaštite iskopa 62 m

Injekcijskih bušotina 98

Ukupna duljina mlazno injektiranih tijela 670 m



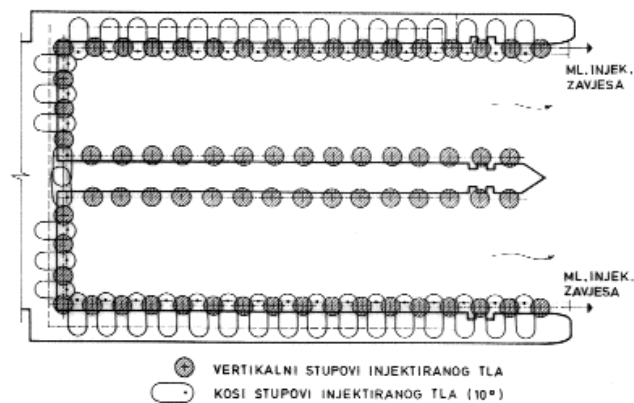
Sveučilište u Zagrebu
 RUDARSKO
 GEODIJSKO
 NAFTNI FAKULTET

MHE Roški slap

Ojačanje temeljnog tla i
rekonstrukcija temelja
strojarnice

Injekcijskih bušotina 160

Ukupna duljina mlazno
injektiranih tijela
800 m



Sveučilište u Zagrebu
 RUDARSKO
 GEODIJSKO
 NAFTNI FAKULTET

Karakteristični presjek - Roški slap

