

Marko FAŠALEK  
dipl.ing.gradb., Gradbeni inštitut ZRMK, Ljubljana

## **UPORABA TEHNOLOGIJE JET GROUTING PRI IZGRADNJI KOLEKTORJA V MESTNI LUKI V SPLITU**

**POVZETEK:** V referatu je prikazana uporaba tehnologije Jet Grouting pri izgradnji kanalizacijskega kolektorja v mestni luki v Splitu. Tu smo izvedli zaščito treh gradbenih jam tik ob morski obali. Opisana je tudi izgradnja kolektorja s pomočjo montažnih kadi, ki so oprte na Jet Grouting slope. Prikazanih je tudi nekaj rezultatov preiskav odvzetih vzorcev "betona" iz Jet Grouting slopov.

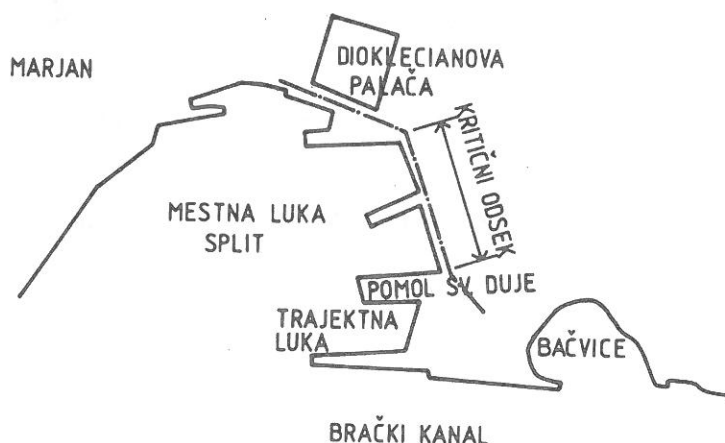
## **THE USE OF JET GROUTING IN THE CONSTRUCTION OF THE MAIN DRAIN NEXT TO THE CITY HARBOUR AT SPLIT**

**SUMMARY:** The paper describes the use of Jet Grouting in the construction of the main drain next to the city harbour in Split. Protection works for three excavations, located only 1,0 - 2,0 meters from the sea wall, are described. The main drain was built using prefabricated concrete channel-shaped elements, which are supported by columns formed by the Jet Grouting process. Some results of tests performed on specimens of "concrete" removed from the Jet Grouting columns are also presented.

## Uvod

Mesto Split ima danes okrog 200.000 prebivalcev. Kanalizacijski sistem v mestu Split ni enoten. Precejšen del kanalskih odpadkov se izliva direktno v mestno luko. Vsak obiskovalec tega mesta je lahko zaznal neprijeten vonj ob prehodu ob obali pristanišča. V okviru proslav ob 1700 letnici mesta, ki se je začelo razvijati na mestu Dioklecianove palače, je gradbeno podjetje Konstruktor jeseni 1995 pričelo z izgradnjo enotnega kanalizacijskega sistema, ki bo rešil pereč ekološki problem mesta.

Zelo zahtevna je bila izgradnja etape kolektorja tik ob obali od mestne tržnice do pomola svetega Duje pri trajektni luki. Gradbeno podjetje Konstruktor je proučevalo razne tehnologije dela in se končno odločilo za tehnologijo, pri kateri je pomembno vlogo zavzemala Jet Grouting tehnologija. Izvedbo del po tej tehnologiji kot tudi projekte zaščite gradbenih jam je glavni izvajalec del zaupal Gradbenemu inštitutu ZRMK.

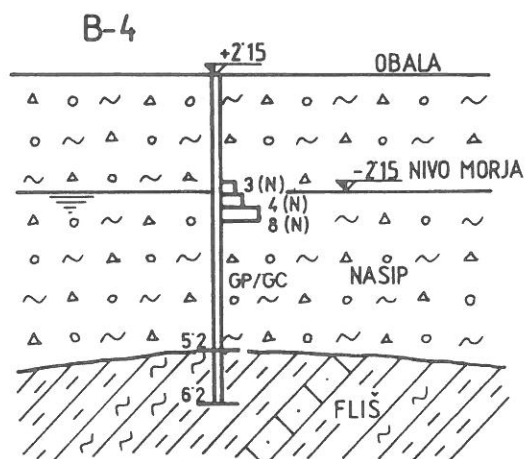


Slika 1 - lega kanalizacije

## Sestava tal

Za območje obale je značilno precej heterogeno slabo uležano nasutje in visok nivo vode - morja v tleh. Obala je bila v preteklosti nasuta z apnenčevim gruščem s samicami, deloma z odpadnim gradbenim materialom in deloma z glinastim gruščem fliša. Pod nasipom, ki je tu debeline 5,00 m do 8,00 m je hribinska osnova - eocenski fliš.

Nasipne plasti so pretežno zelo rahle ( $N = 3 - 8$ ); z globino se gostota nasipa nekoliko poveča. Geomehanske preiskave na območju kanalizacije je izvršil IGH enota Split. Za nasipne materiale so priporočili strižni kot  $\varphi = 22^\circ - 26^\circ$  in kohezijo 0 ter prostorninsko težo  $22 \text{ KN/m}^3$ . Nasip na delu obale, kjer pristajajo trajekti, je bil precej izpran (ca 5,00 m v zaledje) zaradi delovanja ladijskih vijakov. Sestava tal je vidna na sliki 2.

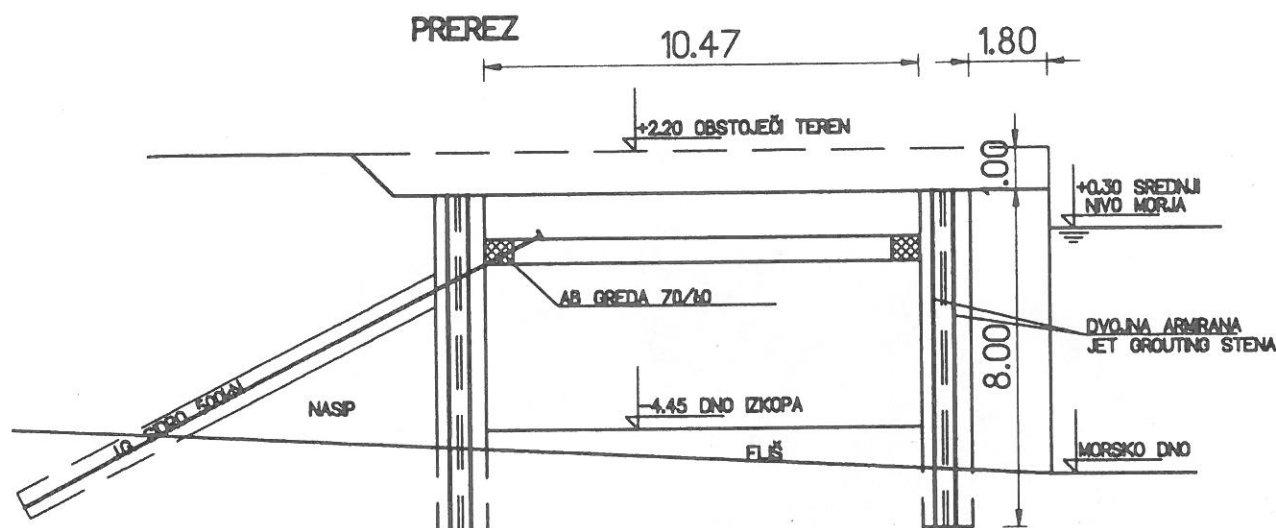


Slika 2 - sestava tal

### Zaščita gradbenih jam

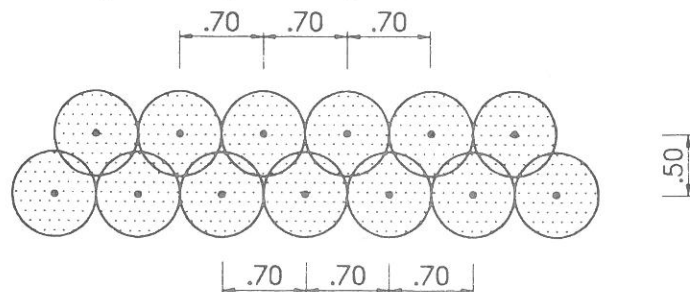
V okviru izgradnje kolektorja ob obali mestne luke so zgradili tudi 3 objekte, ki so zahtevali zaščito gradbenih jam za čas izgradnje in sicer:

- Prikluček prelivnih kanalov in lok L1 pri mestni tržnici - globina, gradbene jame 2,50 - 4,00 m izkop in zaščita v dveh fazah.
- Izpust izpod kolektorja v sredini trase - gradbena jama majhnih tlorisnih dimenzij globine okrog 4,50 m tik ob morju.
- Preliv za visoko vodo pri trajektni luki - gradbena jama tlorisnih dimenzij 14,00 x 11,50 m globine 6,65 m tik ob obali. Dno izkopa jame je bilo 4,75 m pod morsko gladino. Prerez te gradbene jame je viden na sliki 3.



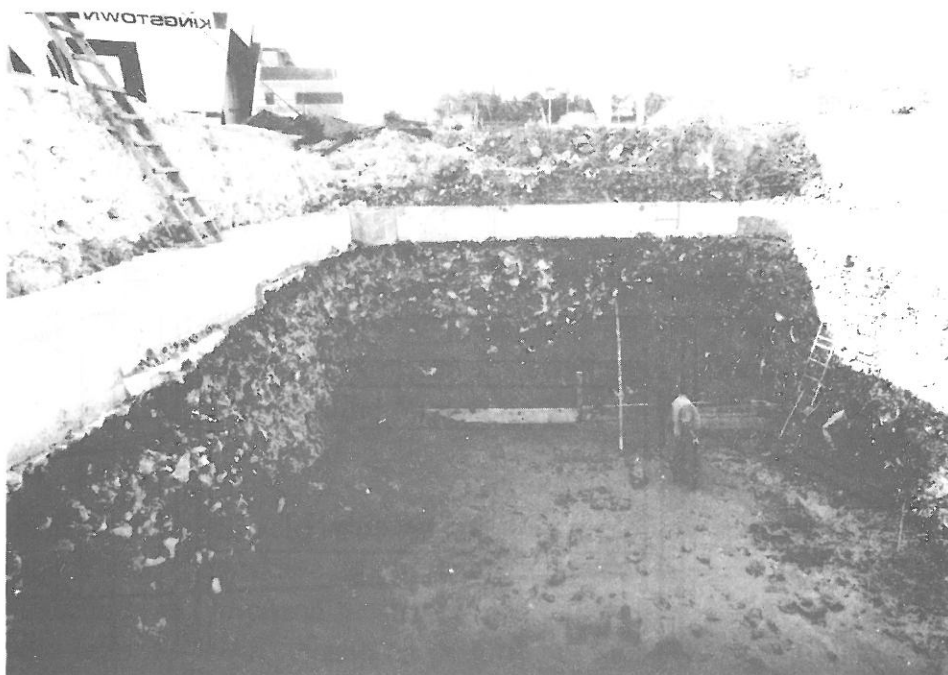
Slika 3 - prerez gradbene jame za visokovodni preliv

Zaščita gradbene jame je bila izvedena z dvojno armirano Jet Grouting steno. Stena je bila razprta z armiranobetonskim okvirjem, ki je bil na strani proti kopnem, kjer so nastopali večji zemeljski pritiski, še dodatno podprt z dvema Jet Grouting sidroma. Geostatični izračun smo izvedli s pomočjo programa SAPS. Armaturo v pilotih smo določili s programom DIMEN. Upogibna nosilnost Jet Grouting slopov je precej omejena. Razmeroma majhna upogibna nosilnost slopov je pogojena z razmeroma nizko marko zemljinskega "betona" in z možnostjo armiranja slopov samo v sredini. Ti razlogi pa tudi izpranost nasipa ob obali sta narekovali pri najgloblji gradbeni jami dvojno vrsto armiranih slopov. Razpored slopov je viden na sliki 4.



Slika 4 - razpored Jet Grouting slopov

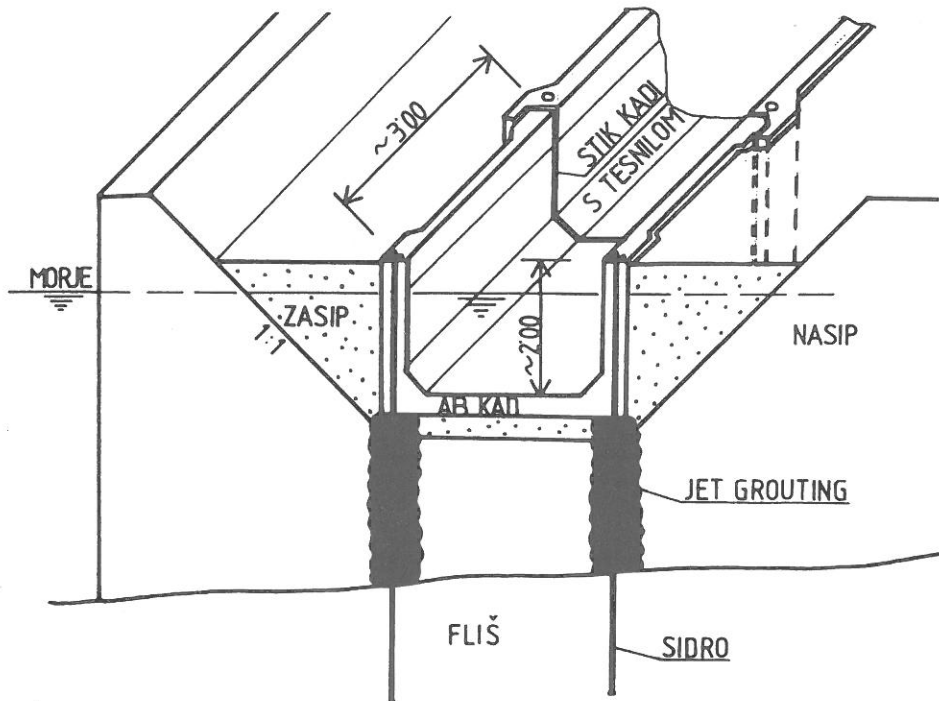
Razmeroma majhna globina do hribinske podlage (6,00 - 8,00 m) je omogočila uvrtnje slopov v fliš, kar je zagotovilo tudi vodotesnost dna. Na fotografiji 1 je viden izgled gradbene jame po dokončanem odkopu. Kljub neposredni bližini morja smo dosegli popolno vodotesnost gradbene jame, kar je omogočilo normalno izvedbo visokovodnega preliva.



Fotografija 1 - videz gradbene jame

## Izvedba Jet Grouting slopov za temeljenje in sidranje kadi

Izkop za kolektor je potekal neposredno vzdolž obale in je segal ca 2,00 m pod morsk gladino. Izkop so zavarovali z armiranobetonskimi kadmi, ki so jih betonirali v sami luki in transportirali s plovnim dvigalom. Kadi so polagali v prepravljen izkop. Dno izkopa so predhodno na fino splanirali potapljači. Stike kadi so zatesnili s posebnimi neoprenskimi tesnili. V vertikalnih stenah kadi so bile na stikih luknje, skozi katere je ekipa Gradbenega inštituta ZRMK izvedla jet Grouting slope, ki so služili za temeljenje in sidranje proti vzgonu za čas gradnje. Način izvedbe je viden na sliki 5.



Slika 5 - temeljenje in sidranje kadi

### Kontrola kvalitete Jet Grouting del

S tehnologijo Jet Grouting ustvarimo v zemljini vrteninasto telo - slop. Premer slopa in kvaliteta "betona" sta odvisna od sestave tal, kvalitete injekcijske mase tipa tehnologije Jet Grouting itd. Kontrola kvalitete je tu v primerjavi s klasičnimi betonskimi in armiranobetonskimi deli otežena in omejena. V danem primeru je bilo možno poleg običajne kontrole injekcijske mase (kontrola vodocementnega faktorja in odvzem vzorcev injekcijske mase na mešalcu in iz vrtnice) kontrolirati tudi videz - premer slopov ob odkopu gradbene jame. Nekaj slopov je bilo kasneje tudi porušeni zaradi prebojev do morja. Tako je bilo možno odvzeti tudi nekaj večjih kosov "betona", iz katerih smo izrezali kocke za ugotavljanje MB. Poleg tega smo "beton" tudi sklerometrirali in na posameznih kosih določali tudi točkovno trdnost. Nekaj rezultatov teh preiskav dajemo v naslednjih preglednicah.

## PREISKAVA TLAČNIH TRDNOSTI (MB) "BETONA"

VZOREC ŠTEVILKA	DIMENZIJE		PROSTORNINSKA MASA kg/m <sup>3</sup>	TLAČNA TRDNOST (MPa)
	a (cm)	b (cm)		
1	10,00	10,00	2.200	11,00
2	10,00	10,00	2.005	5,6

## PREISKAVE TOČKOVNIH TRDNOSTI "BETONA"

VZOREC	PROSTORNINSKA MASA	TOČKOVNA TRDNOST	
		INDEKS	OCENA q <sub>u</sub>
	kg/m <sup>3</sup>	MPa	MPa
Izpust izpod kolektorja	1,580	0,59	13,07
	1,690		
Visokovodni preliv	1,550	0,56	12,33
	2,170		
	2,200		

Opisane preiskave in pregledi so potrdili predpostavko v projektu, da lahko v tem terenu računamo na povprečno MB 10 MPa in premer slopa 0,70 m pri uporabi enostopenjske tehnologije Jet Grouting.

### Zaključek

Uspešna izvedba Jet Grouting del pri izgradnji kanalskega kolektorja v mestni luki v Splitu je še enkrat potrdila, da je možno to tehnologijo uporabiti tudi v zelo zahtevnih geotehničnih pogojih. Zelo uspešna je bila zaščita gradbenih jam, kjer je bilo možno to uspešnost neposredno preveriti po odkopu gradbene jame. Zaradi neugodne sestave tal (nasip s samicami apnenca) bi bila tu izvedba zaščite gradbenih jam po drugih bolj klasičnih metodah (zagatnice, vkopano zidovje, itd.) praktično neizvedljiva.

Metoda Jet Grouting je tudi do neke mere nepredvidljiva. Ta nepredvidljivost se je izkazala pri porabi cementa. Namesto načrtovanih 200 kg cementa/m' slopa smo dosegli porabo v povprečju okrog 260 kg/m' slopa. Na najslabših mestih pa smo dosegli porabo tudi preko 300 kg/m' slopa.

Uporaba te metode vsekakor zahteva precejšnje izkušnje tako pri projektiranju kot tudi pri sami izvedbi.

#### **Literatura:**

- (1) B. Nadilo (1996) Izgradnja kanalizacijskog kolektora u splitskoj luci. Građevinar br. 1 Zagreb str. 43 - 47.
- (2) IGH poslovni center Split (1994) Geotehnički izveštaj o geotehničnim iztražnim radovima za potrebe izgradnje kolektora u Splitu
- (3) GI ZRMK projektna dokumentacija za zaščito gradbenih jam kolektorja v Splitu, Ljubljana 1995, 1996.