



*IZVEDBA PILOTA I ZIDOVA DIJAFRAGME OD SAMOZBIJAJU EG BETONA

mr.sc. **Donka Wurth**¹, dipl.ing.gra .
 dr. sc. **Sonja Zlatovi**¹, dipl. ing. gra .
 mr. sc. **Petar Adamovi**¹, dipl. ing. gra .
¹Tehni ko veleu ilište u Zagrebu

Sažetak: U posljednje vrijeme u Zagrebu je izgra eno nekoliko stambenih i poslovnih objekata "Top-Down" metodom, a izvedeni zidovi dijafragme su zidovi budu e garaže. Zidovi su manje ili više hrapavi, me utim, ponegdje je u zidu vidljivo procurivanje podzemne vodena mjestima lošeg spoja dijelova ab konstrukcije ili zbog nedovoljne kvalitete betona u samoj dijafragmi. Dijafragma i piloti koji se izvode na mjestu, betoniraju se uz pomo kontraktor postupka, pri kojemu esto dolazi do problema: segregacije betona ili pojavljivanja proslojakatlabog prekida u betoniranju. Ovi bi problemi bili izbjegnuti primjenom samozbijaju eg betona (Self-compacting concrete, SCC). SCC je relativno nova vrsta betona koja se godinama primjenjuje u svijetu kod izvo enja betonskih elemenata: to je beton koji sam te e i ugra uje se u oplatu pod utjecajem vlastite težine, bez dodatnog vibriranja. Primjena ove vrste betona najvažnija je kod zahtjevnih gusto armiranih presjeka, kod sanacija, u tunelogradnji, te postupka ugradnje betona kontraktorom. Uporabom samozbijaju eg betona koji ima gustu, kohezivnu strukturu betona, mogu e je smanjiti defekte lošeg betona u zidovima dijafragmi i pilota.

Ključne riječi: samozbijaju i beton (SCC), kontraktor postupak, "Top-Down" metoda, zidovi dijafragme, piloti

CONSTRUCTION OF PILES AND DIAPHRAGM WALLS WITH SELF-COMPACTING CONCRETE

Abstract: In recent years several residential and commercial buildings in Zagreb were built using "top-down" method, where diaphragm walls became walls of the future garage. The walls are of more or less rough surface, but in some places leaking of ground water is visible and some weak places in the structure elements occurred due to inadequate quality of the concrete in the diaphragm. Diaphragm and piles on the site were constructed using tremie concrete, which in general may lead to problems like segregation of concrete and inlays and impressions of the soil. Rather new type of concrete could perform better in these structures, a rather new type of concrete, Self-compacting concrete (SCC) which is run by its own weight and is placed without vibration. The application of this type of concrete is recommended in thick demanding sections, in repairing, in tunneling, and as tremie concrete. Application of self-compacting concrete, which has a dense, cohesive structure, may reduce the defects of poor concrete diaphragm walls and piles.

Key words: Self compacting concrete (SCC), tremie concrete, "top-down" method, diaphragm walls, pilots

*Rad objavljen: Geo-expo 2014, Mostar, 23-24.05. 2014.g.



1. UVOD

Graevna jama je prostor koji osigurava rad ljudi i strojeva prilikom iskopa temelja i izvedbe podzemnog dijela graevine. Na in izvedbe, te vrsta zaštite jame ovisi o nekoliko faktora, a to su [Nonveiller, 1990]: dubina temelja ispod površine terena, hidrološki i hidraulički uvjeti na gradilištu, položaj temeljne plohe prema najvišoj razini podzemne vode, vrste i svojstva materijala u kojima se izvodi graevna jama, pogodnost metode izvoenja obzirom na ekonomičnost, trajanje, te sigurnost izvedbe. Zaštitom graevne jame mora se osigurati stabilnost stranica i smanjiti prodiranje vode u slobodni prostor iskopa. Projektom zaštite graevne jame, na temelju geotehničkih istražnih radova, definira se geotehnički model s rješenjem. U slučaju da se graevna jama izvodi u blizini postojećih objekata, uglavnom se osigurava potpornom konstrukcijom koja se pridržava sidrima, poduporama ili razuporama. Potporna konstrukcija može biti izvedena od već gotovih npr. stupa ili prednapregnutih elemenata, a može se primjenjivati i dijafragma. Takvu dijafragmu čini niz armirano betonskih stijena povezanih koliko je moguće uzduž vertikalnih granica koje se izvode u tlu: iskop se uglavnom štiti bentonitnom isplakom koja omogućava spuštanje armaturnog koša i betoniranje kontraktor postupkom, a na gornjem rubu svi se paneli povezuju armirano betonskom naglavnom gredom.

Dijafragma može poslužiti kao privremena konstrukcija koja treba ostati stabilnom tijekom izvedbe graevine unutar graevne jame; može biti izvedena kao trajna konstrukcija unutar koje se izvodi neovisna graevina, a može biti i dijelom nosive konstrukcije graevine. U tom slučaju, ako se objekt izvodi "Top-Down" postupkom, za temeljenje stupova uglavnom se izvode piloti, koji pridržavaju teret stropnih ploha do monolitizacije pilota s temeljnom plohom. Kod bušenih pilota, u bušotine spuštaju armaturni koševi i betoniranje se vrši kontraktor postupkom, gotovo sa površine terena u dubinu znatno ispod buduće temeljne plohe graevine, te se u svježi beton postavljaju čelični profili koji će služiti kao privremeni stupovi nosive konstrukcije kroz cijelu prvu fazu izgradnje. Projekt zaštite graevne jame i projekt nosive konstrukcije time su vrlo usko povezani.

Pokazuje se da vrlo značajnu ulogu u izvoenju dijafragmi i pilota ima kvaliteta betona, a najviše ugradljivost betona, koji konzistencijom mora biti prilagođen ugradnji- kontraktorom. Unutarnja strana dijafragme u pravilu je ostati vidljivom, te je vrlo važna struktura betona, iako je izgled ipak ovisan i o stanju tla in situ i vodonepropusnost, sa što manje pukotina u samom betonskom elementu.

2. TOP DOWN POSTUPAK I IZVEDBA ZIDOVA DIJAFRAGMI I PILOTA

U Zagrebu je iskustvo gradnje dijafragmi i pilota značajno. Zaštita većeg broja graevnih jama osigurana je dijafragmama, pridržanima najčešće sidrima, uz crpljenje, tako da se nesmetano moglo graditi u slobodnom prostoru. Da bi se minimizirali utjecaji iskopa na okolne graevine, u posljednje vrijeme nekoliko je graevina dubokih podruma izvedeno metodom "Top-Down", (stambeno-poslovna zgrada na Cvjetnom trgu, Ban centar u Vlačkoj ulici, zgrada Hrvatske Elektroprivrede u Kupskoj - u podzemnim prostorima su uglavnom garaže i jedan prodajni centar).

Najprije se u punoj dubini izvodi vodonepropusna dijafragma, koja se ne sidri u tlo već može biti razuprta budućim stropnim ploham a podzemnih etaža. Ovom vrstom izgradnje najčešće dijafragma ostaje kao obodni zid podzemnih etaža - garaže. Vertikalnu obodnu hidroizolaciju s vanjske strane, te veliku pozornost treba posvetiti ugrađivanju trajnih spojnih elemenata s brtvenim trakama radi sprečavanja procijeplivanja podzemnih voda.

Opterećenje stropnih ploha podzemnih etaža tijekom gradnje preuzimaju čelični stupovi koji su prethodno izvedeni kroz zaštitne kolone izvedene na bušene pilote. Iskop se vrši kroz



-2 etaže (slika 1), kako bi se osiguralo betoniranje oplatnim stolovima, koji su bili ovješeni o prethodno izbetoniranu stropnu ploču (slika 2) i oslonjeni na čelične stupove iznad pilota.



Slika 1. Iskop tla ispod buduće ploče



Slika 2. Betoniranje ploče

3. BETON PILOTA I ZIDOVA DIJAFRAGME

Prema prihvaćenim europskim normama HRN EN 1536 Izvedba posebnih geotekničkih radova - Bušeni piloti u poglavlju 6.3 Beton na gradilištu, dani su zahtjevi za beton: tla na vrstu a mora biti između C 20/25 i C30/37, te prema toj normi 6.3.1.5. Beton za pilote mora:

- imati veliku OTPORNOST NA SEGREGACIJU
- VISOKU PLASTIČNOST I DOBRU KOHEZIVNOST
- dobra SVOJSTVA TEČNJA
- svojstvo SAMOZBIJANJA
- dovoljnu obradljivost za ugradnju i skidanje privremenih pomagala

Omjer osnovnih sastavnih materijala za beton i konzistencijom dani su prema tabeli 1 i 2.

Tabela 1. Sastavni materijali za beton (HRN EN 1536)

Sadržaj cementa	
- ugradnja u suhim uvjetima	325 kg/ m ³
- ugradnja u potopljenim uvjetima	375 kg/ m ³
Vodo-cementni omjer (v/c)	< 0,6
Sadržaj finih čestica d<0,125 mm (uključivo i cement)	
- krupni agregat d>8mm	400 kg/ m ³
- krupni agregat d<8 mm	450 kg/ m ³



Tabela 2. Razred konzistencije svježeg betona u različitim uvjetima (HRN EN 1536)

Radiusi rasprostiranja (mm)	Slijeganje (mm)	Uobičajeni uvjeti primjene
460 Ø 530	130 H 180	ugradnja betona u suhim uvjetima
530 Ø 600	H 160	beton u potopljenim uvjetima ugradnja pumpanjem ili kontraktorom
570 Ø 630	H 180	beton u potopljenim uvjetima ugradnja kontraktorom ispod tekućine za stabilizaciju

Kod primjene Europske norme HRN EN 1538 Izvedba posebnih geotekničkih radova- Diјаfragme u poglavlju 6.5. Beton također se traži da beton bude OTPORAN NA SEGREGACIJU tijekom ugradnje, da TEJE LAGANO oko armature, te kada se ugradi da ima gustoću i vodonepropusnost. Zahtjevi za beton dani su kroz točke pojedinih sastavnih materijala. Točka 6.5.2. Agregat, zahtjevi su da je max. zrna agregata 32mm, uz uvjet da je količina pijeska minimalno 40 % od ukupne količine agregata, te da ukupna KOLIČINA SITNIH ESTICA (uključujući i cement) mora biti između 400 kg/m³ i 550 kg/m³. U točki 6.5.3. Cement, minimalna količina uvjetovana je veličinom zrna kao što je prikazano u tabeli 3.

Tabela 3. Minimalna količina cementa (HRN EN 1538)

Najveće zrna agregata (mm)	Minimalna količina cementa (kg/m ³)
32	350
25	370
20	385
16	400

Vodo - cementni omjer zadan je kao $v/c < 0,6$, primjena superplastifikatora i usporivača je moguća. U točki 6.5.6. norme, u poglavlju Svježi beton, propisana je konzistencija slijeganjem u granicama od 160 mm do 220 mm, a isto tako preporučuje se vrijednost od 180 mm do 220 mm. Ako se konzistencija ispituje metodom rasprostiranja mora zadovoljiti vrijednosti od 520 mm do 630 mm, ali se preporučuje vrijednost od 550 mm do 600mm.

Kada se razmotre ovi zahtjevi, tada prije svega zahtjevi koji su označeni velikim slovima upućuju na to da beton koji se primjenjuje za ugradnju u pilote i zidove diјаfragmi mora imati reološke uvjete samozbijajućeg, samougradivog betona.

4. SAMOZBIJAJUĆI I SAMOUGRADIVI BETON (Self-compacting concrete, SCC)

Samozbijajući beton je beton superiorne sposobnosti te onaj koji teče uz pomoć svoje vlastite težine, zaobilazi prepreke armature i popunjava oplatu potpuno bez dodatnog vibriranja. To je beton dobre gustoće i dobre homogenosti. Uslijed svoje velike fluidnosti i obradljivosti jako je kompaktan, te nema pojave segregacije niti izdvajanja vode. Primjena ove vrste betona je kod zahtjevnih gusto armiranih presjeka, kod sanacija, u tunelogradnji, te postupka ugradnje betona kontraktorom. Dobar samozbijajući beton mora biti u tekućem



stanju, ali i dovoljno viskoznan, kako bi se sam ugradio bez zahtjeva za vibriranjem. Ova vrsta betona odlikuje se specijalnom ugradljivošću. Samozbijaju i beton razlikuje se od klasičnog vibriranog betona u tome što su svojstva svježeg betona u samozbijaju i drugim betonima od velike važnosti za ocjenu kvalitete i dobre ugradljivosti. Kako bi se beton mogao sam ugradivati svojom vlastitom težinom, a da pri tome zadrži svoju kompaktnu strukturu, mora ispunjavati slijedeća svojstva [Bartos, 2000]:

- Sposobnost tečenja (flowability) – sposobnost betona da teče
- Sposobnost popunjavanja (filling ability) – sposobnost betona da potpuno ispuni oplatu
- Sposobnost prolaska prepreka (passing ability) – sposobnost da savlada prepreke i zaobljenosti
- Otpornost prema segregaciji (resistance to segregation) – sposobnost da se zadrži homogenosti tijekom transporta, ugradnje

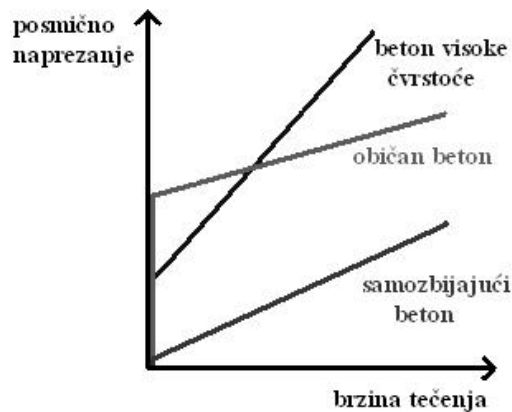
Iako su osnovne komponente običnih vibriranih betona i samozbijajućih betona iste (agregat, cement, voda, superplastifikator) razlika je u tome što se u sastavu SCC betona koristi veći i sadržaj sitnih čestica (>500 µm), maksimalno zrno agregata je 16 mm (D16) te je obavezna primjena dodatka (superplastifikatora najnovije generacije - na bazi polikarboksilata). [Würth, 2011.] Osim dobrih svojstava svježeg betona, od ove vrste betona očekuju se i dobra svojstva viskoznog betona i svojstva trajnosti.

4.1. Reološka svojstva samozbijajućeg betona

Reološke karakteristike samozbijajućeg betona određene su karakteristikama cementnog morta, koji je glavni nositelj svojstava samozbijajućeg betona. Kod ove vrste betona velika važnost se posvećuje projektiranju cementnog morta jer granica tečenja cementnog morta mora biti toliko niska da spriječi segregaciju, te je potrebno ostvariti dostatnu viskoznost morta kako bi se osigurala homogenost i stabilnost mješavine. U reološkom smislu kombinacija sposobnosti dobrog popunjavanja i bez segregacije rezultiraju niskim granicama naprezanja i umjerenom plastičnom viskoznosti. [Domone, 2006.]

Svojstva samozbijajućeg betona u svježem stanju mogu se opisati Binghamovim modelom. Reološke karakteristike betonske mješavine određene su karakteristikama cementne paste. Samougradivost betona podrazumijeva deformabilnost cementne paste i otpornost na segregaciju između krupnog agregata i cementne paste, što znači da je potrebna određena viskoznost. Također uloga cementne paste je da bude dovoljno vrsta kako bi prenosila pritisak koji se stvara između dva zrna agregata.

Granica tečenja samozbijajućeg betona je puno niža, pa je potrebna velika viskoznost matrice da ne dođe do segregacije. Na slici 3. prikazana je razlika ponašanja triju vrsta betona. [Wallevik, 2003]



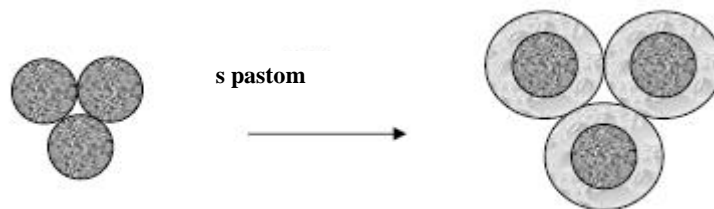
Slika 3. Različite krivulje tečenja za pojedine vrste betona

Granično posmično naprežanje odgovara energiji potrebnoj da bi beton počeo teći, dok viskoznost (brzina tečenja) određuje otpornost deformaciji pri tečenju. [Kordts, 2004]

4.2. Zahtjevi na samozbijajući beton

Osnovni zahtjevi za projektiranje samozbijajućeg betona su:

- niski vodo/vezni (ili vodo/praškasti) omjer sa doziranjem velike količine superplastifikatora kako bi se omogućilo tečenje bez izdvajanja vode i segregacije
- količina paste dovoljna (slika 4) da se zadovolji princip razmicanja agregatnog skeleta: popunjavanje šupljina među zrnima agregata i razmicanje agregatnog skeleta, da bi se osigurala bolja obradivost zbog smanjenja broja kontakata među zrnima agregata



Slika 4. Zrnca agregata obavijena cementnom pastom

- dovoljno niski sadržaj krupnog agregata koji smanjuje ukupno tečenje (premoštenje) te zbog toga blokira tečenje

U tabeli 4 pokazani su omjeri pojedinih sastavnih materijala samozbijajućeg betona kao podaci EFNARC Europskog vodiča [ERMCO, 2005], te omjeri za normalni vibrirani beton.



Tabela 4. Europske preporuke za sastav samozbijajućeg betona

		Kriterij EFNARC	Kriterij vibrirani beton
krupni agregat (>4mm)	% na vol	27-36	46
sitni agregat	% na vol		25
	% na mas. ukup.agr.	48-55	35
pasta (voda+ praškast. komp)	% na vol	30-38	29
praškaste komp.	kg/m ³	500-600	355
slobodna voda	kg/m ³	150-210	160
v/p (voda/prašaste komponente)	na mas.		0.45
	na vol.	0.85-1.10	1.41

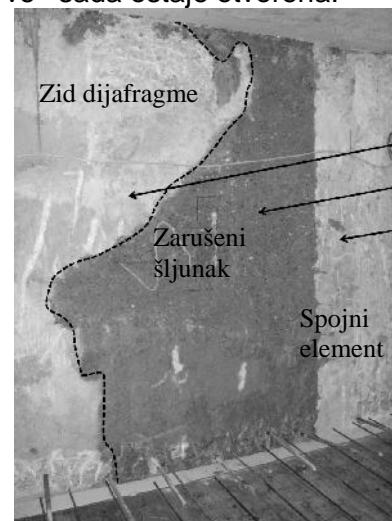
Za zahtjeve za beton iz normi HRN EN 1536 i 1538, možemo reći da su zahtjevi za samozbijajućim i beton, iako možemo uvidjeti i da nisu ispunjeni neki zahtjevi da bi beton u potpunosti tekao i da ne bi došlo do pojave segregacije.

5. POBOLJŠANJE IZVOĐENJA DIJAFRAGME

Iako se neki nedostaci dijafragmi od običnog betona mogu pripisati greškama u projektiranju i izvedbi, a neke nepredvidivim nehomogenostima u tlu (slika 6), značajan se dio nedostataka može spriječiti izborom kvalitetnijeg betona i na inačicu ugradnje. Smanjivanjem procurivanja kroz stjenke ili dijafragme kakovo pokazuje slika 5, može se postići i bolji izgled unutarnje strane dijafragme koja u nekim građevinama već sada ostaje otvorena.



Slika 5. Procurivanje vode kroz pukotine ili loše dijelove betona



Slika 6. Proslojak šljunka zidu dijafragme (džep) [Sapunar]



S obzirom na zahtjeve "Top-Down" metode da zidovi dijafragme budu zidovi budu e gra evine, vrlo važno je obratiti pozornost kod projektiranja na postavljanje zahtjeva za sastavom betona dijafragme.

6. ZAKLJUČAK

Primjenom zidova dijafragme kao završne dijelove budu e gra evine, javila se potreba da se posveti ve a pažnja projektiranju sastava betona, te pažnja tijekom izrade na betonari i same ugradnje betona. U prihva enim Europskim normama za izvo enje pilota i zidova dijafragmi, zahtjevi za beton su djelomi no ujedno i zahtjevi za samozbijaju i beton. Da bismo bili sigurni da e naš beton te i i zaobilaziti armaturu bez segregacije, zahtjevi za beton bili bi kao i kod samozbijajućeg betona. Koli ina sitnih estica morala bi biti ve a od 500 kg/m^3 (uključujući i cement). Fine estice koje su manje od 125 mm naj eše kod drobljenih frakcija do i e sa sitnom frakcijom- pijeskom, me utim kod prirodnih agregata, ova koli ina estica trebala bi se nadomjestiti dodavanjem mineralnog dodatka Tip II - punilo. Ove fine estice daju viskoznost i kohezivnost potrebnu da bi beton tekao, a da ne do e do pojave segregacije. Veliki utjecaj u pojavi segregacije ima koli ina vode, te veliki v/c faktor ($>0,5$). Kriteriji koji se postavljaju u normama kažu da v/c faktor mora biti $<0,6$. Ovaj kriterij nije dovoljan da bi se osigurala otpornost od segregacije, stoga vrlo je važno naglasiti da je prilikom projektiranja betona za pilote i dijafragme zahtjev za v/c faktorom puno stroži, te je potrebno ispitati konzistenciju i evidentirati da nema pojave segregacije niti izdvajanja vode (bleeding). Ugradnja betona postupkom kontraktora, naro ito dubokih zaštitnih jama, u okruženju vode, traži homogen, koherentan, teku i i gusti beton, a sve su to svojstva samozbijajućeg betona.

REFERENCE

- Bartos P.J.M., "Measurement of Key Properties of Fresh Self-Compacting Concrete" CEN/STAR PNR Workshop, June 2000.
- Domone P.: "Mortar tests for Self-consolidating Concrete", Concrete international, 2006.
- ERMCO; EFNARC; EFCA; CEMBUREAU; BIBM : "The European Guidelines for Self-Compacting Concrete, Specification, Production and Use", 2005.
- HRN EN 1536 "Izvedba posebnih geotehni kih radova - Bušeni piloti"
- HRN EN 1538 "Izvedba posebnih geotehni kih radova - Dijafragme"
- Kordts S., Breit W., "Assessment of the Fresh Concrete Properties of Self Compacting Concrete, Concrete Technology Report 2001-2003, 113-124, Verlag Bau+Technik, Dusseldorf, 2004"
- Nadilo B., "Stambeno-poslovna zgrada Ban Centra u Zagrebu, Gra evinar 63, 2011., 6, str. 579-590"
- Nonveiller E.: "Mehanika tla i temeljenje gra evina", Zagreb 1990, str. 686-687"
- N.Sapunar; predavanje "Kako smo gradili Cvijetni prolaz"
- Wallevik O.H. "Rheology, A Scientific Approach to Develop Self Compacting Concrete. In Proceedings of the Third International Symposium on Self-compacting Concrete, Reykjavik, Iceland, RILEM Publications, Bagnaux, France, 2003, pp 23-32"
- Würth D., "Ovisnost sastava i svojstava samozbijajućeg betona", Magistarski rad, 2011.