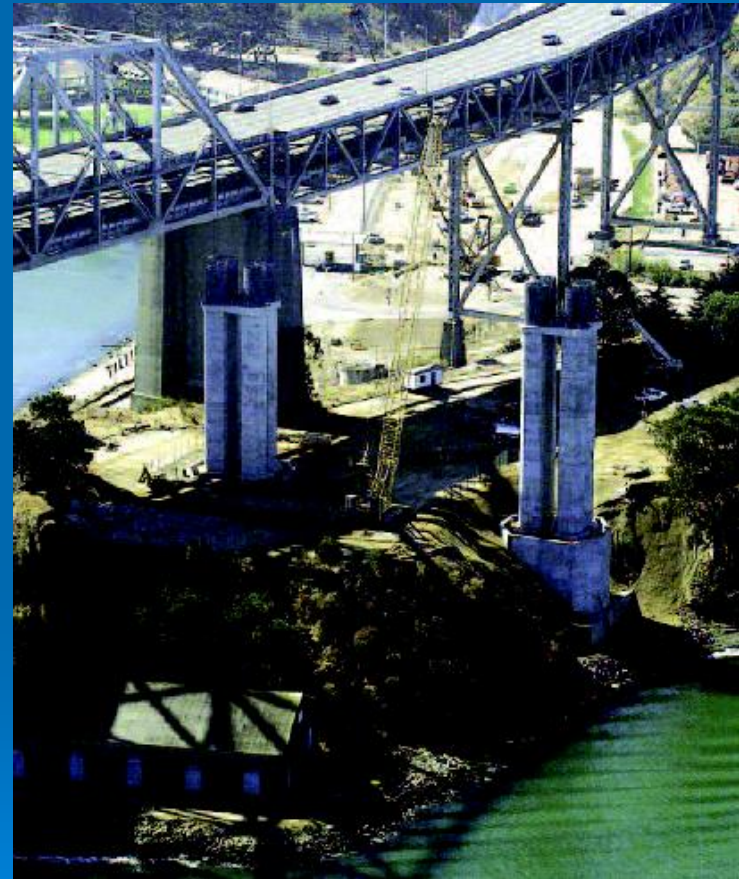


# MASIVNI BETONI



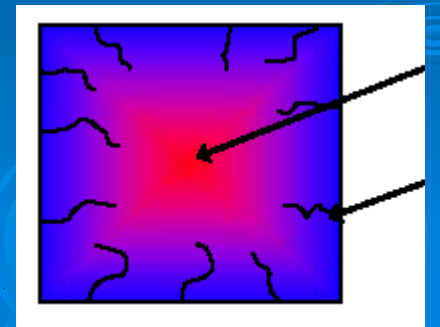
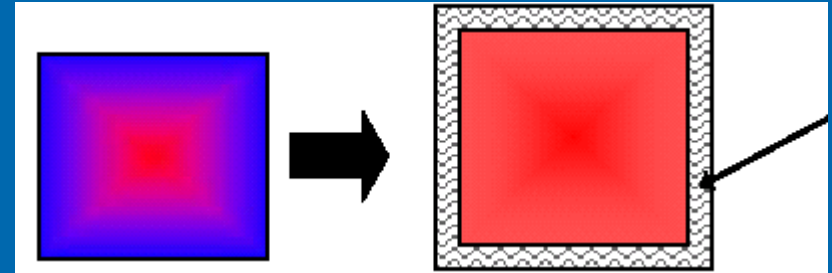
# MASIVNI BETON

- Po definiciji to je beton koji se ugrađuje u konstruktivni element čija minimalna dimenzija je veća od 0,5-1 m
- Masivni beton se u građevinarstvu primjenjuje za različite objekte, a glavna podjela je na:
  - Hidrotehnički masivni beton
  - Masivni beton u visokogradnji i drugim područjima graditeljstva



# PROBLEMATIKA MASIVNOG BETONA

- Uslijed hidratacije razvija se visoka temperatura u betonskom elementu. U unutrašnjosti betonskog elementa povećava se temperatura, a površina betona se hladi. Zbog toga se pri površini elementa pojavljuju vlačna naprezanja, koja mogu izazvati stvaranje pukotina, ako je preveliki temperaturni gradijent između unutrašnjosti i površine betonskog elementa.



# TERMIČKE PUKOTINE

- Zavisno od dimenzije elemenata i temperature okoine mogu se pojaviti nakon nekoliko dana, ali i nakon više tjedana
- Negativno djeluju na trajnost konstruktivnog elementa
- Ponekad pukotine nastaju i kao posljedica kombiniranog djelovanja skupljanja i nejednolikog hlađenja



Primjer pojave termičkih pukotina na površini temelja



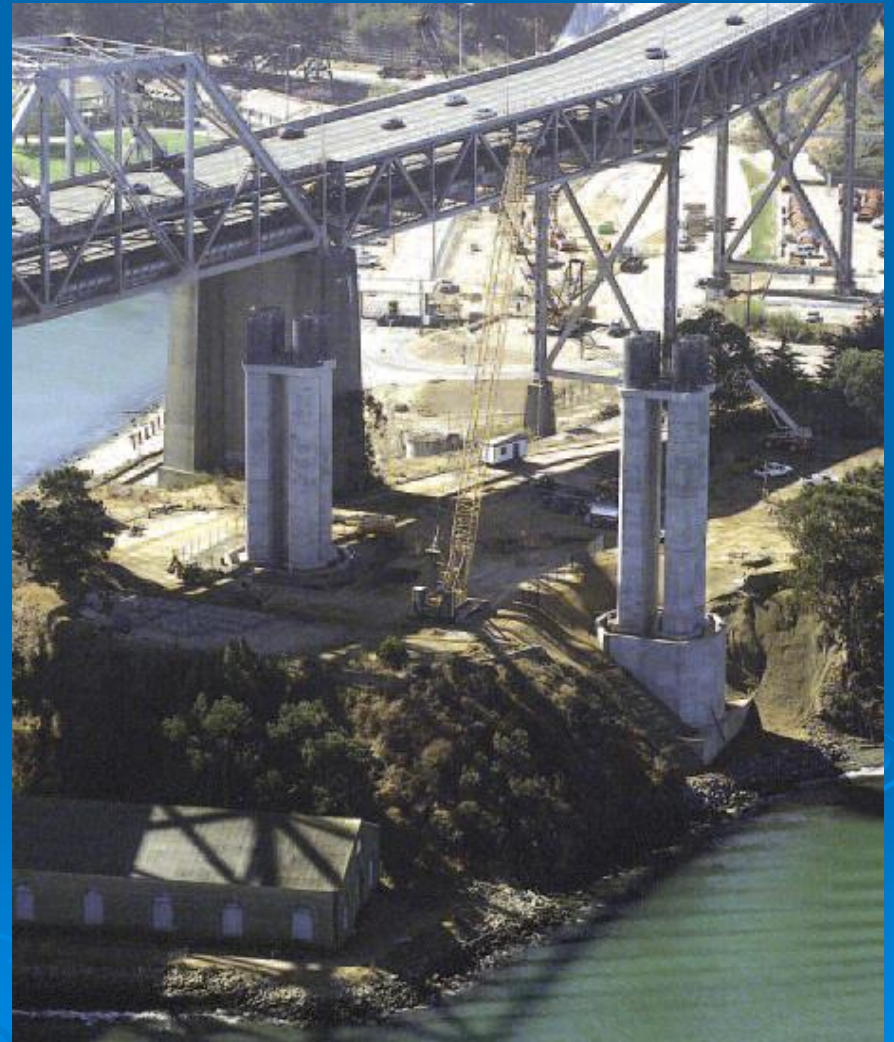
Termičke pukotine na valjku izbušenom iz temelja



# MASIVNI BETON

➤ Problematika masivnog betona nije prisutna samo u hidrotehnici, već i u drugim područjima graditeljstva:

- Temeljne ploče objekata visokogradnje
- Temelji
- Naglavne grede pilota
- Stupovi visokih objekata
- Upornjaci mostova
- Debeli zidovi
- Tunelske obloge itd.



# PRIMJENA MASIVNOG BETONA





# ZAHTJEVI NA MASIVNI BETON

- Glavna problematika kod primjene masivnog betona jest izvedba elemenata bez pojave pukotina i narušavanja konstrukcijske cjelovitosti
- Maksimalna temperatura unutar betonskog elementa  $65^{\circ}\text{C}$
- Maksimalni temperaturni gradijent  $25^{\circ}\text{C}/25\text{ cm}$



Primjena masivnog betona za temelje stupova mosta

# GLAVNE TEHNOLOŠKE MJERE KOD MASIVNOG BETONA

- Cement niske topline hidratacije
- Smanjenje količine cementa
- Uporaba odgovarajućih aditiva
- Krupnije zrno agregata
- Sniženje početne temperature betona
- Kvaliteno zbijanje betona
- Zaštita površina od zagrijavanja, hlađenja i atmosferilija
- Optimalno betoniranje blokova





# TEHNOLOŠKE MJERE KOD MASIVNOG BETONA

- Cementi niske topline hidratacije u svom sastavu imaju veću količinu mineralnih dodataka (npr. zgura ili leteći pepeo), te je njihova toplina hidratacije 25 % do 50 % niža u odnosu na toplinu hidratacije portland-cementnog klinkera.
- Najnepovoljniji period betoniranja elemenata masivnog elementa je tijekom visokih temperatura okoline (ljeti). Zbog toga se treba izbjegavati betoniranje ljeti, ukoliko nisu poduzete potrebne mjere kao npr. uporaba cementa niske topline hidratacije.

# TEHNOLOŠKE MJERE KOD MASIVNOG BETONA

- Tehnologija betoniranja elemenata masivnog betona provodi se na način da se konstrukcija betonira u više segmenata ili elemenata, na način kako je to prethodnim termičkim proračunom i dokazano.
- Na taj se način smanjuje količina betona koja se ugrađuje u pojedini segment, a s time ukupna toplina hidratacije i temperaturni gradijent.
- Tlocrtni raspored segmenata ili blokova masivnog betona provodi se na način da se elementi betoniraju naizmjenično po principu šahovskog polja.
- Na taj se način osigurava da ne dolazi do pojave pukotina zbog spriječenih deformacija segmenata od strane susjednih segmenata masivnog betona tijekom hlađenja.

# TEHNOLOŠKE MJERE KOD MASIVNOG BETONA

- Prilikom transporta betona na gradilište potrebno je voditi računa da ne traje predugo jer se miješanjem betona u mikseru povećava njegova temperatura, a naročito je to slučaj u periodu toplih vremenskih uvjeta (ljeti).
- Poželjno je da mikseri za transport betona budu svijetlije boje radi smanjenja apsorpcije topline od sunčevog zračenja.

# NJEGOVANJE MASIVNOG BETONA

- Nakon završetka betoniranja elemenata masivnog betona potrebno ih je pravilno negovati.
- Elementi se tijekom negovanja trebaju prekriti materijalima koji posjeduju određena termoizolacijska svojstva (npr. stiropor, geotekstil itd.). Na taj se način sprječava disipacija velike količine topline s površine elementa u okolinu, smanjuje se temperaturni gradijent i smanjuje se rizik od pojave termičkih pukotina.





# NJEGOVANJE MASIVNOG BETONA

- U periodu niskih temperatura okoline (zimi), pri betoniranju je potrebno prekriti elemente masivnog betona materijalima sa dobrim izolacijskim svojstvima.
- Kod polijevanja vodom izbetoniranih elemenata od masivnog betona treba voditi računa da razlika temperature vode i temperature elementa koji se njeguje polijevanjem vodom ne bude veća od 10-15°C.
- Ukoliko to nije slučaj može doći do tzv. temperaturnog šoka i trenutnog raspucavanja cijelog presjeka elementa.



# TEHNOLOŠKE MJERE KOD MASIVNOG BETONA

- Zaštita betona od prebrze disipacije topline u okolinu i stvaranja velikog temperaturnog gradijenta
- Nekada su se betonski elementi hladili uvođenjem sistema cijevi za hlađenje u njegovu unutrašnjost. Danas se ova rješenja rijetko koriste zbog jeftinijih i efikasnijih rješenja.



# TEHNOLOŠKE MJERE KOD MASIVNOG BETONA

- Jedna od učinkovitih mjera je i smanjenje temperature svježeg betona
- Kada je potrebno znatnije smanjiti temperaturu svježeg betona, bez utjecaja na komponente, koristi se hlađenje tekućim dušikom



# TEHNOLOŠKE MJERE KOD MASIVNOG BETONA

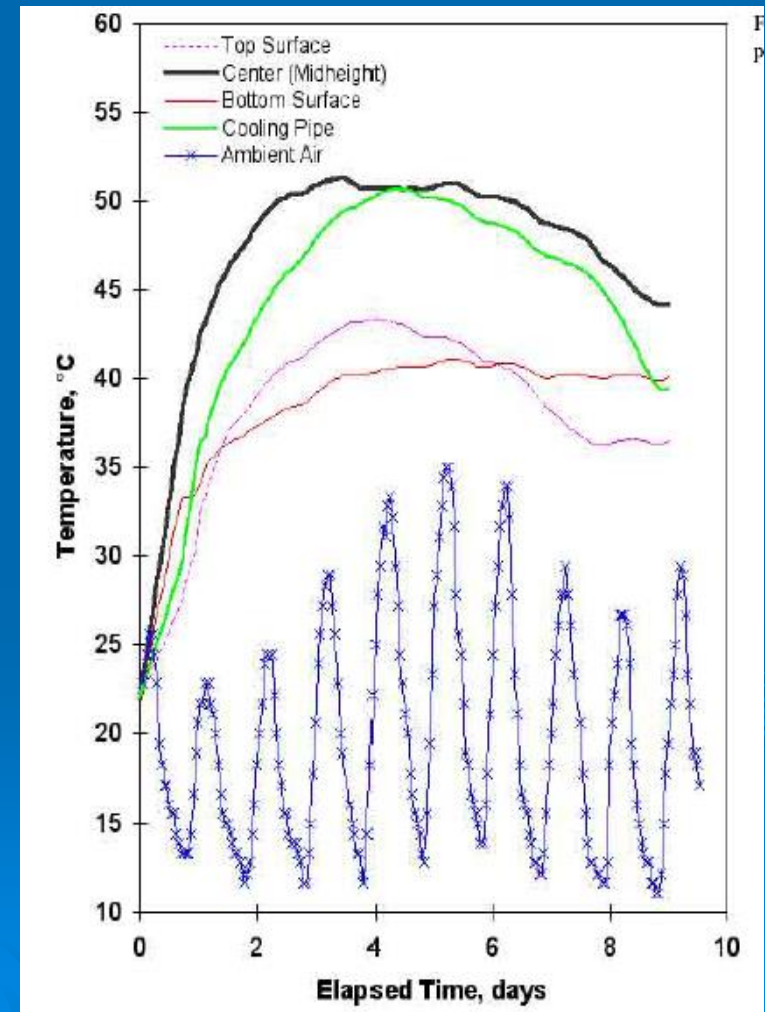
- Jedna od mogućih tehnoloških mjera je i ugradnja betona po noći. Na taj način se smanjuje početna temperatura betona zbog kraćeg transporta od betonare, niže temperature zraka itd.





# MJERENJE TEMPERATURE U MASIVNOM BETONU

- Nakon betoniranja elemenata masivnog betona preporuča se mjerenje maksimalne temperature i temperaturnog gradijenta u betonu.
- Tako se osigurava da ne dođe do prekoračenja kritičnih vrijednosti maksimalne temperature i temperaturnog gradijenta.

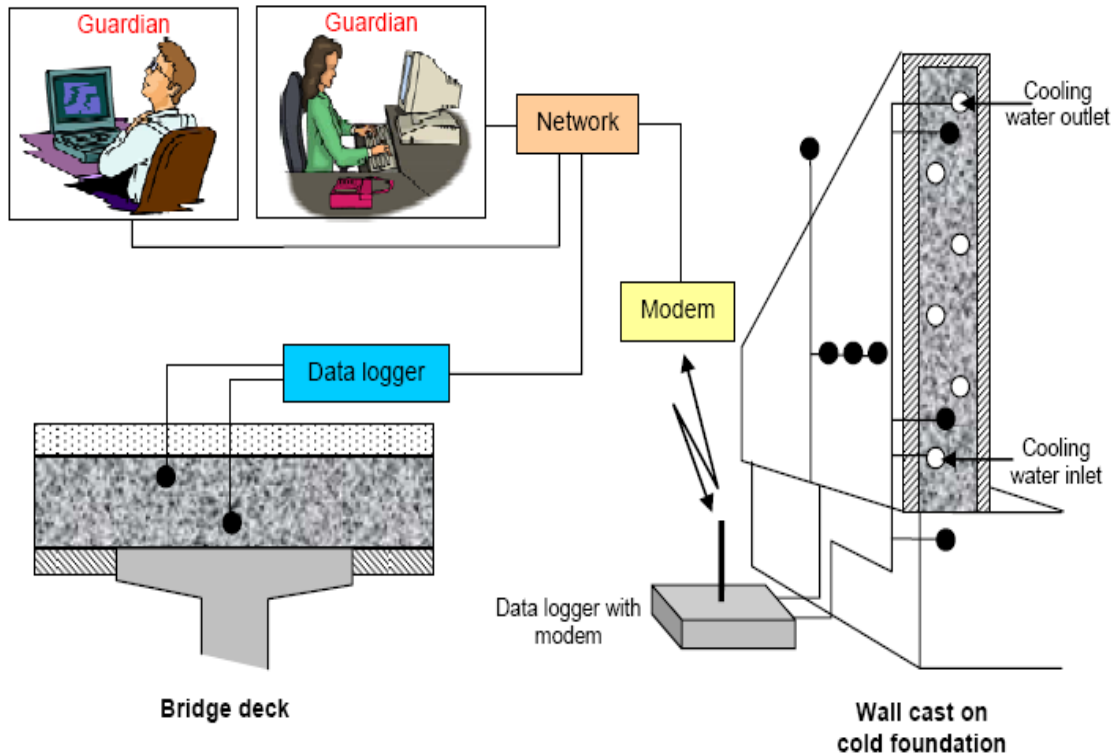


# MJERENJE TEMPERATURE U MASIVNOM BETONU

- Dobivene vrijednosti izmjerene temperature i temperaturnog gradijenta se uspoređuju sa termičkim proračunom, a dobiveni podaci pomažu pri odabiru optimalne tehnologije i dinamike izvedbe betonskih radova.
- Mjerenje temperature i temperaturnog gradijenta može se provesti ugrađivanjem senzora u element ili improviziranim postupcima mjerenja na gradilištu kao što je npr. ugrađivanje bakrenih cijevi ispunjenih vodom po visini elementa.



# MJERENJE TEMPERATURE U MASIVNOM BETONU





# SCHMIDTOVA METODA

- Schmidtova numerička metoda je pojednostavljena metoda konačnih diferencija, koja se uobičajeno upotrebljava u inženjerskoj praksi za proračun temperaturnih promjena u masivnim betonskim elementima.
- Termički proračun se provodi sa ciljem da se odredi tehnologija betoniranja kako temperatura u betonu ne bi bila veća od dozvoljene te da ne dođe do raspucavanja.





# SCHMIDTOVA METODA

## ➤ Ulazni parametri proračuna:

- Količina i vrsta cementa
- Gustoća, specifični toplinski kapacitet i termička difuzivnost betona
- Porast temperature u betonu uslijed hidratacije cementa na temelju podataka o izmjerenoj toplini hidratacije za cement
- Temperatura zraka
- Temperatura betona u svježem stanju
- Tehnologija betoniranja: visina segmenta i redoslijed betoniranja



# PRIMJER: TEMELJNA PLOČA OBJEKTA SKY OFFICE U ZAGREBU

- AB temeljna ploča debljine 100 do 260 cm
- Ukupna količina betona oko 15 000 m<sup>3</sup>
- Prethodnim numeričkim termičkim proračunom po Schmidtovoj metodi određene su maksimalne temperature i temperaturni gradijenti u betonu te je na temelju njih određena dinamika izvođenja betonskih radova



# TEMELJNA PLOČA OBJEKTA SKY OFFICE U ZAGREBU

- Visina temeljne ploče 2.6 m
- Redoslijed betoniranja:
  - srpanj i kolovoz: 2 segmenta po 1.3 m s razmakom od 7 dana
  - rujan: 2 segmenta po 1.3 m s razmakom od 7 dana
  - listopad: 1 segment od 2.6 m
- Dobro podudaranje izmjerenih temperatura s temperaturama dobivenim proračunom po Schmidtovoj metodi





# TEMELJNA PLOČA OBJEKTA SKY OFFICE U ZAGREBU

- termički proračun prije početka izvođenja
- nije korišten cement niske topline hidratacije
- podjela ploče na segmente i betoniranje po principu šahovskog polja



# TEMELJNA PLOČA OBJEKTA SKY OFFICE U ZAGREBU

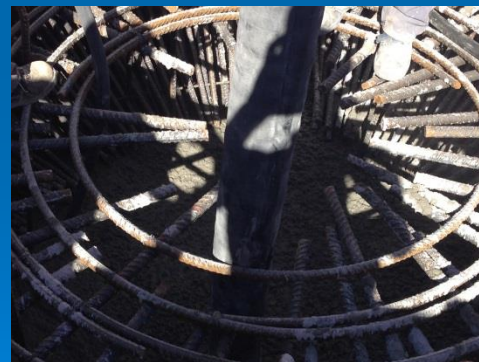
- visina temeljne ploče 2,6 m
- betoniranje tijekom perioda ekstremno visokih temperatura
- niti u jednom segmentu nije došlo do pojave termičkih pukotina





# MASIVNI BETON

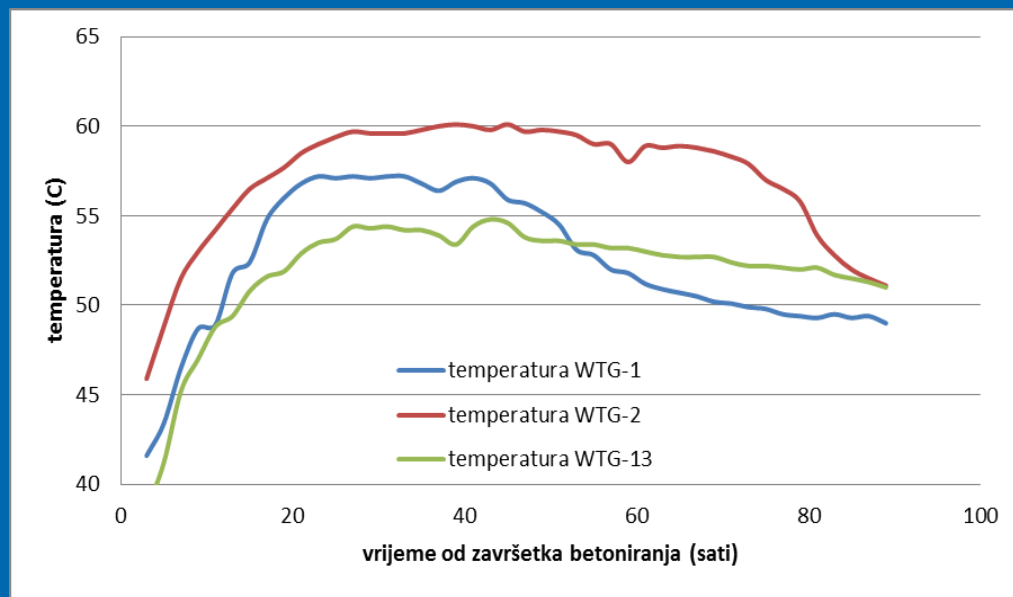
- izvođenje temelja  
vjetroatregata u  
sklopu izgradnje  
VE Zelengrad  
Obrovac
- oko 700 m<sup>3</sup> betona  
u jedan temelj
- nužnost korištenja  
cementa niske  
topline hidratacije





# PRIMJER: TEMELJI VJETROELEKTRANA ZELENGRAD OBROVAC

- betonirano za vrijeme ljetnih temperatura okoline
- mjerjenje temperature betona u svakom temelju
- važnost njegovanja betona pri nepovoljnim uvjetima okoliša
- najveći izvedeni temelji za vjetroeletktrane 17,4 x 17,4 x 2,05-2,25 m



# TEMELJI VJETROELEKTRANA ZELENGRAD OBROVAC

- u jedan temelj je ugrađeno oko 700 m<sup>3</sup>
- ugrađivan je beton C30/37, osim u središnji dio temelja gdje je ugrađen C35/45
- korišten je cement CEM III/B 32,5N SR-LH
- stalna tehnološka kontrola svježeg i očvrslog betona



# PRIMJER: AB TEMELJI REZERVOARA JANAFU U SISKU

-izvođenje betonskih temeljnih prstena za spremnike naftnih derivata u terminalu Janafa u Sisku

-temelji visine 3,2 m i širine 3,5 m, ravnost gornje površine  $\pm 5$  mm/9 m

-beton C30/37 otporan na mraz i soli





# PRIMJER: AB TEMELJI REZERVOARA JANAFU U SISKU

