

## NERAZORNE METODE ODREĐIVANJA ČVRSTOĆE MATERIJALA U KONSTRUKCIJI

- TLAČNA ČVRSTOĆA
  - SKLEROMETAR
  - ULTRAZVUK
  - PULL-OUT
  - PENETRACIJSKE METODE
- VLAČNA ČVRSTOĆA
  - PULL-OFF
  - BREAK-OFF

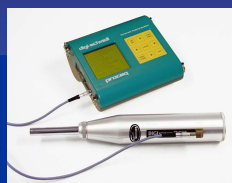
## SKLEROMETAR

## PRINCIP ISPITIVANJA

- Sklerometar se sastoji od čeličnog čekića koji pokreće opruga, i koji kad se otpusti, udara u ticalo koje je u dodiru s betonskom površinom. Duljina odskoka čeličnog čekića od čeličnog ticala mjeri se pomoću linearne podjele koja je sastavni dio uređaja
- Mjeri se veličina odskoka utega tzv. indeks sklerometra
- Na temelju srednje vrijednosti indeksa sklerometra iz baždarne krivulje se odredi tlačna čvrstoća

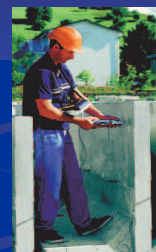
## KALIBRIRANJE SKLEROMETRA

- Prije početka ispitivanja potrebno je kalibrirati sklerometar na čeličnom etalonu minimalne tvrdoće od 50 HRC, mase  $16 \pm 1$  kg i promjera približno 150 mm
- Ako je odstupanje veće od dopuštenog, sklerometar se očisti i/ili izvrši njegov popravak



## PROVEDBA ISPITIVANJA

- Betonski elementi koji se ispituju moraju biti debljine najmanje 100 mm i moraju biti sastavni dio konstrukcij
- Treba izbjegavati područja koja imaju šupljine, ljuštenja, grubu teksturu ili visoku poroznost
- Ispitna površina mora biti čista, ravna i suha
- Minimalna ploština ispitne površine je 300x300 mm



## PROVEDBA ISPITIVANJA

- Ukoliko je površina betona hrapava (npr. mlazni beton), mekana, vlažna ili sa slobodnim česticama morta potrebno ju je izbrusiti brusnim kamenom ili brusilicom, očistiti i/ili osušiti
- Ispitivanje sklerometrom se vrši se pri temperaturi od 10°C do 35°C
- Tijekom ispitivanja sklerometar treba biti okomit na ispitnu površinu



## PROVEDBA ISPITIVANJA

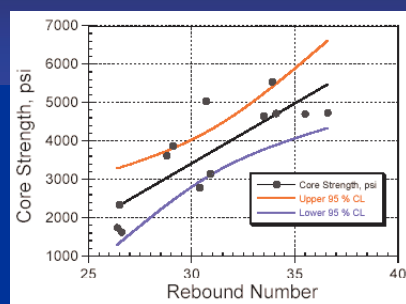
- Na pojedinom ispitnom mjestu treba napraviti minimalno devet očitavanja
- Dvije ispitne točke na mjernom mjestu ne smiju biti međusobno udaljene manje od 25 mm, i niti jedna ispitna točka ne smije od ruba ispitnog mjesta biti udaljena manje od 25 mm
- U slučaju da je u ispitnoj točki udarom sklerometrom probijen površinski sloj betona iznad šupljine, rezultat se odbacuje

## REZULTATI ISPITIVANJA

- Kao rezultat uzima se srednja vrijednost očitavanja na ispitnom mjestu, tako prilagođenih da se uzme u obzir smjer ispitivanja sklerometra, i izrazi se indeks sklerometra kao cijeli broj
- Ako se više od 20 % očitavanja razlikuje od srednje vrijednosti za više od 6 jedinica indeksa sklerometra, cijelo ispitno mjesto treba odbaciti



## BAŽDARNA KRIVULJA INDEKS SKLEROMETRA – TLAČNA ČVRSTOĆA



## NORMA

- HRN EN 12504-2: Ispitivanje betona u konstrukcijama-2.dio Nerazorno ispitivanje- Određivanje indeksa sklerometra



## PRIMJENA

- Nerazorno određivanje tlačne čvrstoće betona u konstrukciji u sklopu naknadnog utvrđivanja kvalitete
- Kontrola kvalitete tijekom izgradnje
- Procjena razvoja tlačne čvrstoće
- Određivanje ujednačenosti betona



## PENETRACIJSKE METODE

### WINDSOR PROBE

### PRINCIP ISPITIVANJA

- Kod penetracijskih metoda provodi se utiskivanje čeličnih vijaka u beton, a dubina penetracija je korelirana s tlačnom čvrstoćom



### PRINCIP ISPITIVANJA

- Mjeri se otpor betona na utiskivanje čeličnih umetaka
- Mjeri se kvalitet zone betona dubine 25 do 75 mm ispod površine
- Umetci su promjera 6.35 mm ili 7.94 mm (lagani beton) i duljine 79.5 mm



### PRINCIP ISPITIVANJA

- Utiskivanje se provodi konstantnom energijom okomito na površinu brzinom od 183 m/s
- Mjerno mjesto je udaljeno od ruba konstrukcije barem 100 mm, a međusobna udaljenost mjernih mjesta je 175 mm

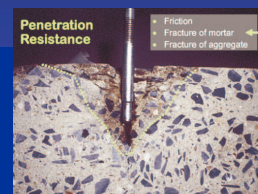


### PRINCIP ISPITIVANJA

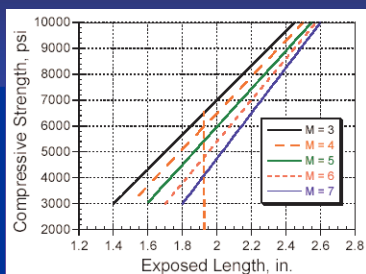
- Dubina prodiranja se mjeri od referentne ploče postavljene na površinu betona s točnošću od 0.5 mm
- Ako se mjerenja provode na uzorcima tada je debljina uzorka barem dupla od očekivane dubine utiskivanja
- Za jedan podatak treba mjeriti na tri mjesta

### PRINCIP ISPITIVANJA

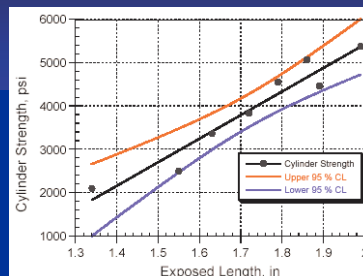
- Problematično je ispitivati betone tlačne čvrstoće veće od 25 MPa i manje od 10 MPa
- Otpor utiskivanju ovisi u velikoj mjeri o tvrdoći i vrsti agregata



## KORELACIJSKE KRVULJE



## KORELACIJSKE KRVULJE



## PRIMJENA

- Kontrola kvalitete na gradilištu
- Naknadna procjena čvrstoće betona u konstrukciji
- Određivanje ujednačenosti betona
- Praćenje razvoja čvrstoće
- Procjena oštećenja betona

## BREAK OFF

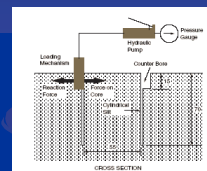
## PRINCIP ISPITIVANJA

- Određivanje direktne vlačne čvrstoće u ravni paralelnoj s površinom betona na željenoj udaljenosti od površine
- Ispitivanja pokazuju da su rezultati dobiveni break off postupkom za cca 30 % veći od savojne čvrstoće na uzorcima



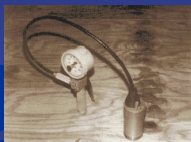
## PRINCIP ISPITIVANJA

- U rez od piljenja se postavi metalna ploča spojena s hidrauličnom ćelijom za opterećivanje
- U mladi beton se stavi umetak ili se u očvrslom betonu sa dijamantnom krunom zapili valjak promjera 55 mm i dubine 70 mm



## PRINCIP ISPITIVANJA

- Opterećivanjem se nanosi poprečna sila odlamanja na gornji dio ispiljene jezgre
- Potrebno je najmanje pet mjernih mjesta za pouzdani prosječni rezultat
- Treba posjedovati korelaciju sile odlamanja i čvrstoće



## PREDNOSTI I OGRANIČENJA

- Postupak je brz i potrebna je samo jedna pristupna površina betona
- Na površini betona nakon ispitivanja ostaju vidljiva oštećenja
- Potrebno je imati i opremu za bušenje
- Potrebno je iskustvo pri ispitivanju

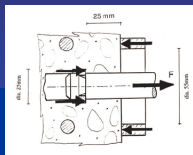
## PULL-OUT

## PRIMJENA

- Određivanje tlačne čvrstoće betona u konstrukciji za tehnološke potrebe (prednapinjanje, skidanje podupora i sl.)
- Praćenje razvoja čvrstoće
- Procjena oštećenja betona

## NORMA

- HRN EN 12504-3:  
Ispitivanje betona u konstrukcijama-3.dio  
Određivanje sile čupanja



## PRINCIP ISPITIVANJA

- U beton se ugrađuje mali čelični umetak na koji se na drugoj strani u sredini spoji sredstvo za nanošenje sile. Mjeri se sila potrebna da se iščupa umetak iz betona

- Postoje dvije vrste umetaka:
  - Postavljanje prije betoniranja
  - Postavljanje nakon betoniranja





**PROVEDBA ISPITIVANJA  
(UMETAK UGRAĐEN PRIJE  
BETONIRANJA)**

- Čelični umetak mora imati okruglu glavu promjera  $25 \pm 0.1$  mm
- Šipka na koju sespaja umetak mora imati promjer ne veći od 60 % promjera umetka
- Duljina šipke od površine betona do najbliže površine umetka mora biti jednaka promjeru umetka

**PROVEDBA ISPITIVANJA  
(UMETAK UGRAĐEN NAKON  
BETONIRANJA)**

- Za ugradnju u očvrslu beton zahtijeva se oprema od ovlaštenih proizvođača
- Nosivi prsten koji se smjesti na betonsku površinu simetrično oko šipketreba biti unutarnjeg promjera od  $55 \pm 0.1$  mm i vanjskog promjera  $70 \pm 1$  mm

**PROVEDBA ISPITIVANJA**

- Sustav za opterećivanje mora biti sposoban nanijeti vlačnu silu na čelični umetak s reakcijom prnesenom na betonsku površinu preko nosivog prstena
- Mora se osigurati koncentričan smještaj nosivog prstena oko šipke i okomito prenošenje opterećenja u odnosu na ravninu umetka
- Odstupanje sile čupanja može biti  $\pm 2$  %

**PROVEDBA ISPITIVANJA**

- Mjerna mjesta moraju biti udaljena barem 200 mm (osna udaljenost)
- Mjerna mjesta su barem 100 mm od ruba betona
- Umetak se stavlja na način da je sva armatura izvan očekivane konične površine loma, i od nje udaljena bar za promjer armature ili veličinu maksimalnog zrna agregata (što je veće)
- Najmanja debljina betona mora biti 100 mm



## PROVEDBA ISPITIVANJA

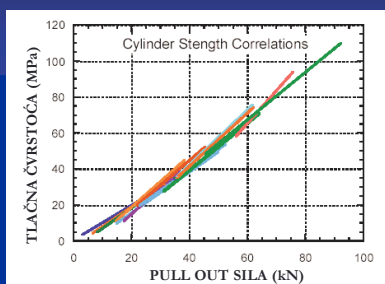
- Broj ispitivanja ovisi o:
  - Svrhi ispitivanja
  - Zahtjevanoj točnosti
  - Konstruktivnom elementu
- Ispitivanje se ne smije provoditi na smrznutom betonu
- Brzina prirasta opterećenja od  $0.5 \pm 0.2$  kN/s
- Maksimalna sila čupanja se zaokružuje na 0.05 kN

## ODRĐIVANJE KORELACIJE SILE ČUPANJA I TLAČNE ČVRSTOĆE

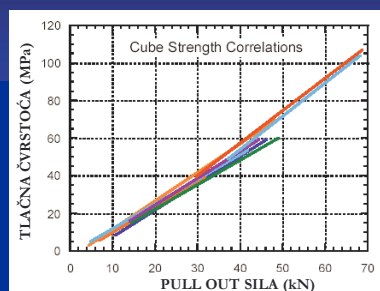
- Napraviti uzorke (kocke ili valjci) sa i bez umetaka
- Njegovati ih na isti način
- Nakon 1, 2, 3, 7, 14 i 28 dana ispitati po 2 uzorka i 8 sila čupanja svaki dan



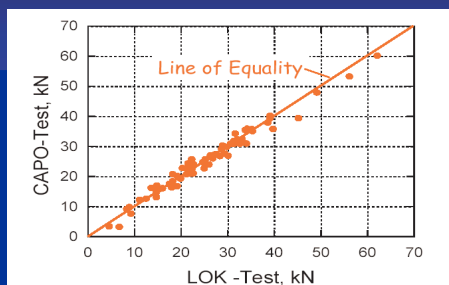
## KORELACIJA PULL-OUT SILE I TLAČNE ČVRSTOĆE NA VALJKU



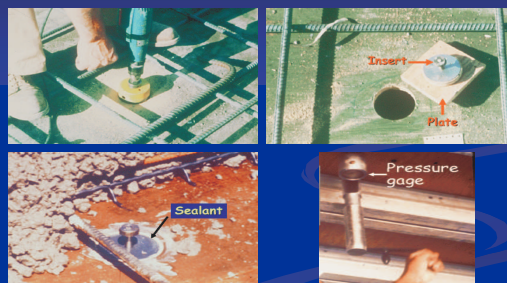
## KORELACIJA PULL-OUT SILE I TLAČNE ČVRSTOĆE NA KOCKI

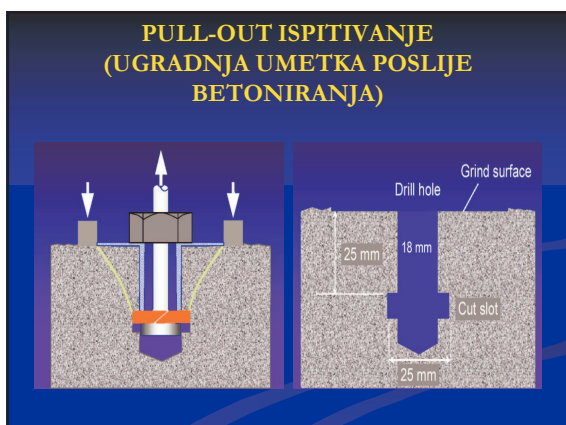


## KORELACIJA LOK TEST (PRIJE BETONIRANJA) I CAPO TEST (POSLIJE BETONIRANJA)



## PULL-OUT ISPITIVANJE (UGRADNJA UMETKA PRIJE BETONIRANJA)





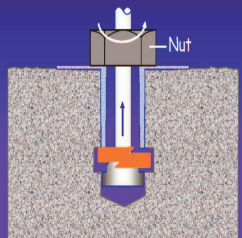



**PULL-OUT ISPITIVANJE  
(UGRADNJA UMETKA POSLIJE  
BETONIRANJA)**



Coiled ring  
Mandrel

**PULL-OUT ISPITIVANJE  
(UGRADNJA UMETKA POSLIJE  
BETONIRANJA)**



Nut  
Coiled ring  
Mandrel  
Nut

**PULL-OUT ISPITIVANJE  
(UGRADNJA UMETKA POSLIJE  
BETONIRANJA)**



**PULL-OUT ISPITIVANJE  
(UGRADNJA UMETKA POSLIJE  
BETONIRANJA)**



**PULL-OUT ISPITIVANJE  
(UGRADNJA UMETKA POSLIJE  
BETONIRANJA)**



Dobro ispitivanje  
Loše ispitivanje

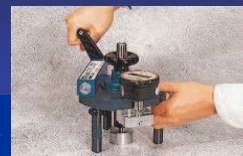
**PULL-OFF**

## PRIMJENA

- Ispitivanje vlačne čvrstoće betona u konstrukciji
- Određivanje prionljivosti sanacijskog materijala na beton
- Ocjena pripremljenosti podloge prije nanošenja materijala za sanaciju
- Procjena tlačne čvrstoće betona u konstrukciji na temelju ispitivanja vlačne čvrstoće

## NORMA

- **HRN EN 1542: 2001**  
Proizvodi i sustavi za zaštitu i popravak betonskih konstrukcija -  
- Metode ispitivanja --  
Mjerenje čvrstoće prionljivosti pull-off metodom



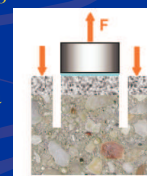
## PROVEDBA ISPITIVANJA

- Pull-off metodom ispitivanja se određuje vlačna čvrstoća betona u konstrukciji
- Pločice za ispitivanje su promjera  $50 \pm 0.5$  mm i visine 20 mm (ako su od čelika) ili 30 mm (ako su od aluminijske)



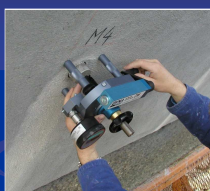
## PROVEDBA ISPITIVANJA

- Pločice se nalijepe na očišćenu i pripremljenu betonsku površinu najčešće dvokomponentnom brzočvršćavajućom epoksi smolom
- Bitno je da se smola nanese jednoliko po presjeku pločice
- Prije početka ispitivanja oko pločice okomito na površinu betona zabuši sa dijamantnom krunom do dubine betona od minimalno  $15 \pm 5$  mm



## PROVEDBA ISPITIVANJA

- Pločica se pričvrsti za uređaj kojim se nanosi vlačna sila sa brzinom prirasta od  $0.05 \pm 0.01$  MPa/s do sloma
- Sila se nanosi isključivo okomito na površinu ispitivanog elementa kako bi se izbjeglo savijanje i posmik



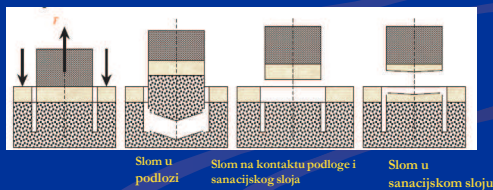
## PROVEDBA ISPITIVANJA

- Sila čupanja određuje se sa točnošću od  $\pm 2\%$ , obično su sile manje od 10 kN
- Na jednom mjernom mjestu provodi se pet ispitivanja, a od toga kod minimalno tri ispitivanja tip sloma treba biti pravilan



## PROVEDBA ISPITIVANJA

- Kao rezultat se pored vrijednosti vlačne čvrstoće (sila/površina) navodi i tip sloma npr. u betonskoj podlozi, sanacijskom materijalu ili kombinirano



## PROVEDBA ISPITIVANJA

- Ispitivanje se ne uzima u obzir ukoliko se slom dogodi na ljepilu između pločice i površine



## IZGLED UZORAKA NAKON PULL-OFF ISPITIVANJA



100 % slom u sanacionom mortu

100 % slom u betonu

## PREDNOSTI I NEDOSTACI

- Prednosti
  - Brzo i relativno jednostavno određivanje vlačne čvrstoće
- Nedostatak
  - Zahtijeva se ispitivač sa dostatnim iskustvom

