



1. Tlačna čvrstoća betona HRN EN 12390-3:2009

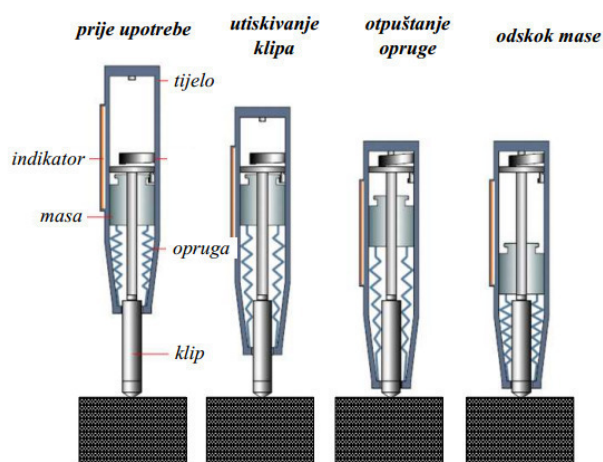
Oprema potrebna za vježbu:

- sklerometar
- preša za ispitivanje čvrstoće betona
- vaga

Tlačna čvrstoća betona ispitivat će se na uzorcima oblika kocke, dimenzija 15 cm x 15 cm:

- vjerojatna tlačna čvrstoća mjerenjem indeksa odskoka sklerometra
- tlačna čvrstoća drobljenjem betonske kocke

A) MJERENJE INDEKSA ODSKOKA SKLEROMETRA-BETON



Sklerometrom se mjeri veličina odskoka utega, koji ovisi o površinskoj tvrdoći i elastičnosti betona pomoću kojega određujemo tlačnu čvrstoću. Na uzorku kocke ispituje se indeks sklerometra na 5 mjesta s dvije strane, a nakon toga tlačna čvrstoća drobljenjem. Sklerometar se prisloni okomito na površinu kocke i postepenim pritiskivanjem ticala stlačuje se udarna opruga. Nakon pet udaraca očitavaju se indeksi sklerometra. Udari moraju biti jednoliko raspoređeni po površini kocke. Ispitna mjesta trebaju biti udaljena od ruba barem 3 cm, a međusobni razmak ne smije biti manji od 2 cm. Očitane vrijednosti indeksa sklerometra upisuju se u Tablicu 1. Iz srednje vrijednosti indeksa sklerometra iz baždarne krivulje očitava se tlačna čvrstoća kocke brida $a = 15$ cm. Nakon toga se na uzorku ispita tlačna čvrstoća drobljenjem što se također upiše u

Tablicu 1 radi usporedbe.

Tablica 1: Vrijednosti indeksa sklerometra

| Oznaka uzorka | |
|---|--|
| Indeksi sklerometra ($R_1, R_2 \dots R_n$) | |
| Srednja vrijednost (R) | |
| Čvrstoća sklerometrom (N/mm^2) | |
| Čvrstoća kocke (iz Tablice 2) (N/mm^2) | |

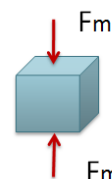


B) TLAČNA ČVRSTOĆA BETONA

- čvrstoća betona pri starosti od 28 dana uzima se kao mjerodavna za proračun i dimenzioniranje betonskih konstrukcija
- tlačna čvrstoća ispitivat će se na uzorku oblika kocke brida $d = 150 \text{ mm}$

$$\sigma_{mt} = \frac{F_m}{A} \text{ (N/mm}^2\text{)}$$

- F_m - sila loma (N)
- A - površina na koju djeluje sila (mm^2)



Tablica 2: Rezultati ispitivanja tlačne čvrstoće betonskih kocki

| Oznaka uzorka | Dimenzije uzorka (m) | m - masa (kg) | V - volumen (m^3) | ρ - gustoća (kg/m^3) | F_m - sila loma (N) | σ_{mt} - čvrstoća kocke (N/mm^2) |
|---------------|----------------------|---------------|------------------------------|--------------------------------------|-----------------------|--|
| | | | | | | |

2. Tlačna čvrstoća drva HRN EN 408:2011

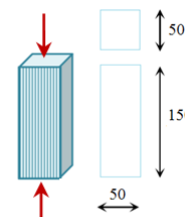
Oprema potrebna za vježbu:

- preša za ispitivanje čvrstoće drva
- pomično mjerilo

Tlačna čvrstoća drva paralelno s vlakancima ispitivat će se na uzorcima dimenzija $50 \text{ mm} \times 50 \text{ mm} \times 150 \text{ mm}$:

Tlačna čvrstoća drva paralelno s vlakancima: $f_{c,o} = \frac{F_{max}}{A}$

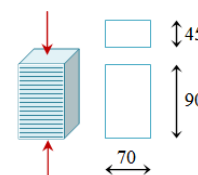
- F_{max} – maksimalna tlačna sila paralelno s vlakancima izražena u N,
- A - površina poprečnog presjeka na koju djeluje sila, a izražava se u mm^2 .



Tlačna čvrstoća drva okomito na vlakanca ispitivat će se na uzorcima dimenzija $45 \text{ mm} \times 70 \text{ mm} \times 90 \text{ mm}$:

Tlačna čvrstoća drva okomito na vlakanca: $f_{c,90} = \frac{F_{c,90,max}}{Bl}$

- $F_{c,90,max}$ – maksimalna tlačna sila okomito na vlakanca u N,
- B – najmanja dimenzija poprečnog presjeka izražena u mm,
- l – duljina uzorka u mm,
- h - visina uzorka u mm.



Tablica 3: Rezultati ispitivanja tlačne čvrstoće drva

| a) Tlačna čvrstoća paralelno s vlakancima | |
|---|--|
| Dimenzije uzorka (mm) | |
| Maksimalna sila (N) | |
| Površina na koju djeluje sila (mm^2) | |
| Tlačna čvrstoća drva paralelno s vlakancima (N/mm^2) | |
| b) Tlačna čvrstoća okomito na vlakanca | |
| Dimenzije uzorka (mm) | |
| Maksimalna sila (N) | |
| Površina na koju djeluje sila (mm^2) | |
| Tlačna čvrstoća drva okomito na vlakanca (N/mm^2) | |

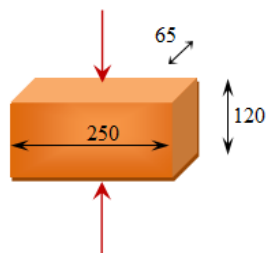


3. Tlačna čvrstoća opeke HRN EN 771-1:2002 i HRN EN 772-1:2004

Oprema potrebna za vježbu:

- preša za ispitivanje čvrstoće glinene opeke
- pomično mjerilo

Tlačna čvrstoća glinenog bloka ispitivat će se na uzorku opeke dimenzija $l_u \times w_u \times h_u = 250 \text{ mm} \times 120 \text{ mm} \times 65 \text{ mm}$:



Zidni elementi se, ovisno o udjelu i orijentaciji šupljina nakon ugradnje (smjer opterećenja), svrstavaju u skupinu 1, 2, 3 ili 4. Puna opeka ne sadržava šupljine, zbog čega se u skladu s normom prEN 1996-1-1 svrstava u grupu 1 zidnih elemenata. Glineni zidni elementi podložni su odstupanjima u izmjerama te se stoga, u skladu s normom HRN EN 771-1:2002, svrstavaju u razrede. U skladu s tim, uzorku opeke izmjerit ćemo stvarne dimenzije i unijeti podatke u tablicu 4.

Proizvođač objavljuje (deklarira) tlačnu čvrstoću zidnih elemenata kao srednju i/ili karakterističnu vrijednost, najčešće samo u smjeru okomitom na naliježuću površinu. Pri projektiranju zidanih konstrukcija primjenjuje se normalizirana srednja vrijednost tlačne čvrstoće f_b koja predstavlja istovjetnu tlačnu čvrstoću zidnog elementa dimenzija $100 \text{ mm} \times 100 \text{ mm}$ sušenog na zraku, čime proračun postaje neovisan o obliku i izmjerama zidnog elementa pri konačnoj ugradnji. Normom HRN EN 772-1:2004 propisana je metoda ispitivanja

tlačne čvrstoće zidnih elemenata. U skladu s tim, na ispitnom uzorku izveden je izravnavajući sloj cementnog morta M30. Ispitni uzorak je njegovan pod vlažnim folijama. Prije ispitivanja proveo je najmanje 15 sati uronjen u vodu na temperaturi 20°C , nakon čega je izvađen iz vode i ostavljen da se osuši u trajanju od 20 min. Rezultate ispitivanja tlačne čvrstoće ispitnih uzoraka potrebno je upisati u tablicu 4. Normalizirana srednja tlačna čvrstoća zidnog elementa u tablici 4, a prema normi HRN EN 772-1:2004, dobije se primjenom izraza:

$$f_b = 1,2 \cdot \delta \cdot f_{mc}$$

$$f_{mc} = \frac{F_{cm}}{A}$$

- 1,2 je vrijednost faktora ovisnog o uvjetima njegovanja uzoraka,
- $\delta = 0,79$ faktor oblika. Faktor oblika za dani zidni element određen je primjenom linearne interpolacije u skladu s tablicom A.1 norme HRN EN 772-1:2004,
- F_{cm} – tlačna sila koja djeluje na presjek, N
- A – površina poprečnog presjeka na kojeg djeluje sila, mm^2
- vrijednost normalizirane srednje tlačne čvrstoće zidnog elementa, dobivena primjenom vrijednosti čvrstoće zidnog elementa koju je objavio proizvođač, iznosi f_{bd} i upisuje se u tablicu 4.

$$f_{b,d} = 1,2 \cdot \delta \cdot f_{b,o}$$

Tablica 4: Rezultati ispitivanja tlačne čvrstoće glinenog bloka

| l_u (mm) | h_u (mm) | A (mm ²) | F_{cm} (N) | $f_{b,o}$ (N/mm ²) | f_{mc} (N/mm ²) | f_b (N/mm ²) | f_{bd} (N/mm ²) |
|------------|------------|------------------------|--------------|--------------------------------|-------------------------------|----------------------------|-------------------------------|
| | | | | | | | |

Datum: _____

Potpis asistenta: _____



1. Vlačna čvrstoća betona HRN EN 12390-5:2009, HRN EN 12390-6:2009

Oprema potrebna za vježbu:

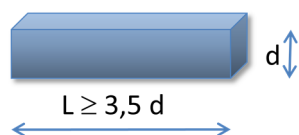
- preša za ispitivanje čvrstoće betona
- vaga
- pomično mjerilo

Načini ispitivanja vlačne čvrstoće betona:

- savijanjem
- cijepanjem uzoraka po izvodnici
- čistim vlakom

VLAČNA ČVRSTOĆA SAVIJANJEM HRN EN 12390-5:2009

Ispituje se na uzorcima oblika prizme, opterećenim s jednom ili dvije koncentrirane sile



Dopušteno odstupanje od normirane veličine (d) je 0,5%.
Dopušteno odstupanje okomitosti stranice je $\pm 0,5$ mm.
Dopušteno odstupanje ravnosti površine plohe je $\pm 0,2$ mm.

- vlačna čvrstoća savijanjem ispituje se na uzorku oblika prizme pod djelovanjem jedne koncentrirane sile u sredini raspona

σ_{ms} - vlačna čvrstoća savijanjem, (N/mm^2)

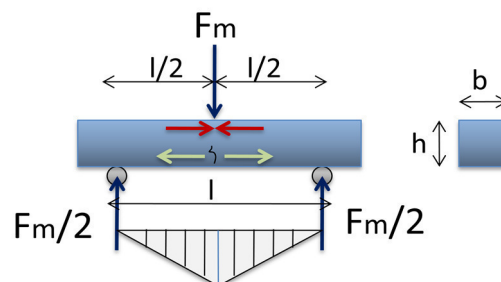
M - moment savijanjem, (Nmm)

W - moment otpora, (mm^3)

F_m - tlačna sila, (N)

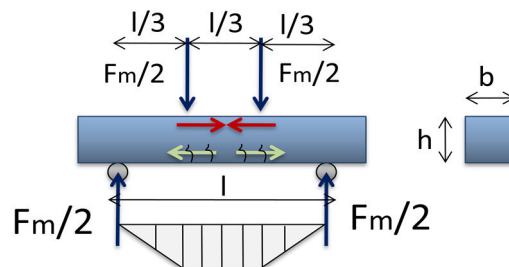
l - udaljenost između ležajeva, (mm)

$$\sigma_{ms} = \frac{M}{W} = \frac{\frac{F_m \cdot l}{2 \cdot 2}}{\frac{b \cdot h^2}{6}} = \frac{3 \cdot F_m \cdot l}{2 \cdot b \cdot h^2} \quad (N/mm^2)$$



- vlačna čvrstoća savijanjem ispitana na uzorku oblika prizme pod djelovanjem dvije koncentrirane sile u trećinama raspona

$$\sigma_{ms} = \frac{M}{W} = \frac{\frac{F_m \cdot l}{2 \cdot 3}}{\frac{b \cdot h^2}{6}} = \frac{F_m \cdot l}{b \cdot h^2} \quad (N/mm^2)$$



Tablica 5: Rezultati ispitivanja vlačne čvrstoće betona savijanjem

| | |
|---|--|
| Dimenzije uzorka b, h (mm) | |
| Maksimalna sila (N) | |
| Udaljenost između ležajeva, (mm) | |
| Vlačna čvrstoća betona savijanjem (N/mm^2) | |



2. Vlačna čvrstoća drva HRN EN 408:2011

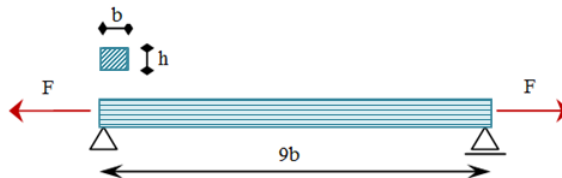
Oprema potrebna za vježbu:

- preša za ispitivanje čvrstoće drva
- pomično mjerilo

VLAČNA ČVRSTOĆA DRVA PARALELNO S VLAKANCIMA:

$$f_{t,o} = \frac{F_{max}}{A}$$

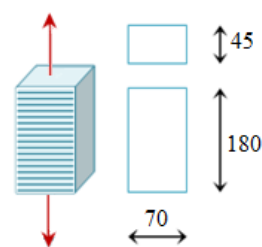
- F_{max} – maksimalna vlačna sila paralelno s vlakancima, (N)
- A - površina poprečnog presjeka na koju djeluje sila, (mm²)



VLAČNA ČVRSTOĆA DRVA OKOMITO NA VLAKANCA:

$$f_{t,90} = \frac{F_{t,90,max}}{bl}$$

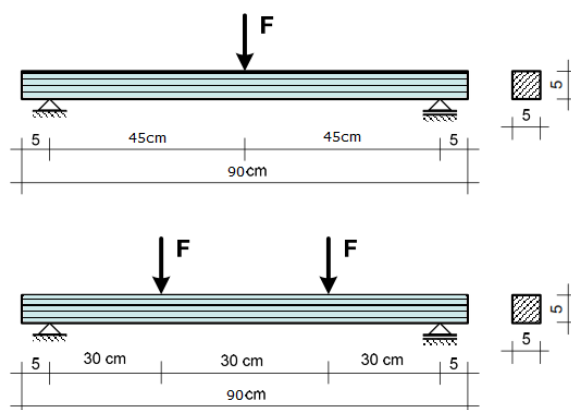
- $F_{t,90,max}$ – maksimalna vlačna sila okomito na vlakanca u N,
- b – najmanja dimenzija poprečnog presjeka izražena u mm,
- l – duljina uzorka u mm,
- h - visina uzorka u mm.



VLAČNA ČVRSTOĆA DRVA SAVIJANJEM:

$$f_m = \frac{3Fl}{2bh^2}$$

- f_m - vlačna čvrstoća drva savijanjem, (N/mm²)
- F - tlačna sila, (N)
- l - udaljenost između ležajeva, (mm)
- b - najmanja dimenzija poprečnog presjeka izražena u mm,
- h - visina uzorka u mm.



Tablica 6: Rezultati ispitivanja vlačne čvrstoće drva

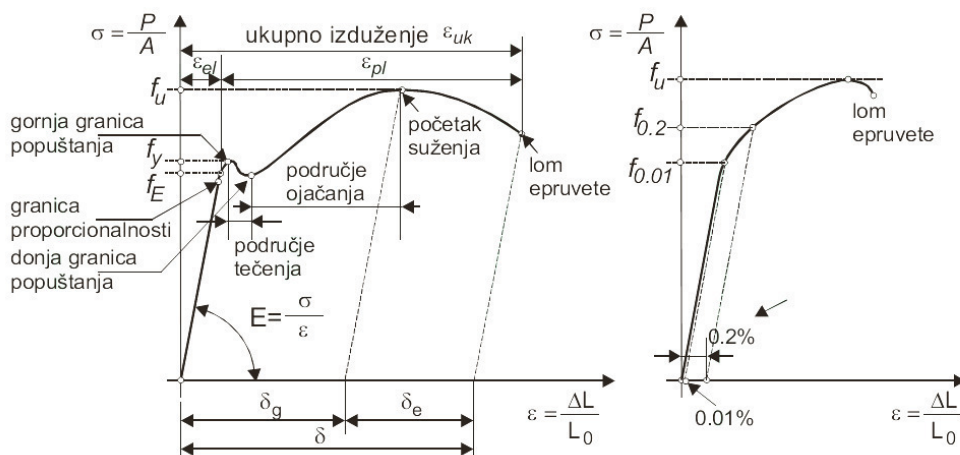
| a) Vlačna čvrstoća paralelno s vlakancima | |
|--|--|
| Dimenzije uzorka (mm) | |
| Maksimalna sila (N) | |
| Površina na koju djeluje sila (mm ²) | |
| Vlačna čvrstoća drva paralelno s vlakancima (N/mm ²) | |
| b) Vlačna čvrstoća okomito na vlakanca | |
| Dimenzije uzorka (mm) | |
| Maksimalna sila (N) | |
| Vlačna čvrstoća drva okomito na vlakanca (N/mm ²) | |
| c) Vlačna čvrstoća savijanjem | |
| Dimenzije uzorka (mm) | |
| Maksimalna sila (N) | |
| Vlačna čvrstoća drva okomito na vlakanca (N/mm ²) | |



3. Vlačna čvrstoća čelika HRN EN 10002-1:2001

Oprema potrebna za vježbu:

- preša za ispitivanje čvrstoće čelika
- pomično mjerilo



A/ Čelici s izraženim plastičnim ponašanjem B/ Čelici bez izražene granice popuštanja

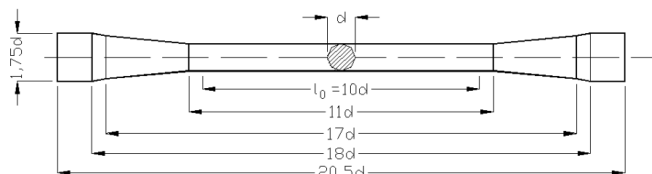
Utvrđivanje mehaničkih svojstava čelika vrši se vlačnim ispitivanjem u posebnom uređaju (kidalici) na epruveti dimenzija i oblika prema standardu ISO 6982-1:2009. Epruvete mogu biti pravokutnog, kvadratnog ili kružnog poprečnog presjeka, a navedenom normom se osim dimenzija propisuje i brzina nanošenja opterećenja - ovisno o modulu elastičnosti metala u pitanju i traženom mehaničkom svojstvu. Brzina unosa

naprezanja u uzorak kontrolira se veličinom sile u sekundi ili veličinom pomaka čeljusti kidalice u sekundi. Karakteristični dijagrami čelika s veličinama koje opisuju njegovo ponašanje prikazane su na slici.

Postupak ispitivanja biti će prikazan na čeličnoj epruveti kružnog poprečnog presjeka čiji promjer i visinu je potrebno izmjeriti prije postavljanja u čeljusti kidalice. Iz radnog dijagrama dobivenog ispitivanjem utvrđuju se vrijednosti čvrstoća u MPa. U radnom dijagramu se naprezanje računa preko površine početnog poprečnog presjeka, jer se za vrijeme istezanja ne mjeri promjena presjeka. Kod materijala, koji imaju znatnu promjenu površine poprečnog presjeka, treba naprezanje računati preko stvarne površine poprečnog presjeka. Takvo naprezanje naziva se onda, stvarnim naprezanjem.

OBLIK I DIMENZIJE UZORKA PREMA NORMI HRN C. A4.002:

- d_o - promjer
- A_o - površina presjeka
- l_o - mjerna duljina = $10 d_o$
- d_{loma} - promjer nakon loma
- A_{loma} - površina presjeka nakon loma
- σ_{loma} - stvarno naprezanje u trenutku sloma uzorka



$$\sigma_{loma} = \frac{F_{loma}}{A_{loma}}$$

Tablica 7: Rezultati ispitivanja vlačne čvrstoće čelika

| d_o (mm) | A_o (mm ²) | l_o (mm) | d_{loma} (mm) | A_{loma} (mm ²) | F_{loma} (kN) | σ_{loma} (MPa) |
|------------|--------------------------|------------|-----------------|-------------------------------|-----------------|-----------------------|
| | | | | | | |
| | | | | | | |

Datum: _____

Potpis asistenta: _____

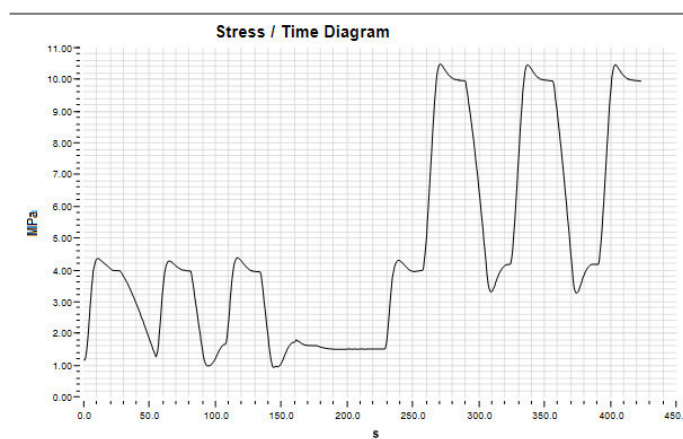
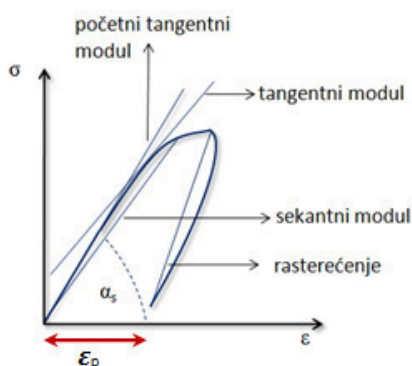


1. Statički modul elastičnosti betona EN 12390-13:2013

Oprema potrebna za vježbu:

- preša za ispitivanje tlačne čvrstoće i statičkog modula elastičnosti betona
- pomično mjerilo
- deformetri

Ispitivanje modula elastičnosti se provodi na uzorcima oblika valjka, dimenzija $d = 150 \text{ mm}$ i $h = 300 \text{ mm}$. S dvije suprotne bočne plohe uzorka postave se deformetri. Opterećenje i rasterećenje ponavlja se između vrijednosti σ_d i σ_g . Za naprezanje σ_d je propisana vrijednost od $0,5 \text{ N/mm}^2$, dok se za σ_g uzima $1/3$ vrijednosti tlačne čvrstoće betona $f_{ck}/3$. Ispitivanja se provode na tri uzorka (prizme ili valjka). Iz dobivenih krivulja opterećenja i rasterećenja modul elastičnosti se određuje približno, tangentom u početnoj točki ili nekoj drugoj točki ili sekantom ako krivulja naprezanje-deformacija nije linearna prema. Na taj način se dobiju tri vrste modula elastičnosti: početni, tangentni i sekantni. Pri ponavljanju opterećenja i rasterećenja dobiva se karakteristična histerezna petlja koja se naziva radni dijagram.



Slika 1: Radni dijagram ispitnog uzorka betona opterećenog na tlak

Slika 2: Određivanje modula elastičnosti treniranjem ispitnog uzorka

Histereza je pojava da rezultati nekog neposrednog djelovanja traju i nakon uklanjanja uzročnika tog djelovanja. Nakon rasterećenja beton se ne vraća u prvobitno stanje nego ostaje trajna plastična deformacija ϵ_p na slici 1. ili $\Delta\epsilon$ na slici 2. Ako se ispitni uzorak ponovo višestruko optereti, dobivaju se uže histerezne petlje, manje trajne deformacije i manja zakrivljenost krivulja. Ovakav postupak ispitivanja naziva se treniranje ispitnog uzorka. Modul elastičnosti je pravilnije odrediti nakon završenog treniranja ispitnog uzorka. Modul elastičnosti betona se izračuna prema izrazu:

$$E = \operatorname{tg} \alpha = \frac{\sigma_g - \sigma_d}{\epsilon_g - \epsilon_d}, \quad E_{cs} = \frac{\Delta \sigma}{\Delta \epsilon} \text{ (kN/mm}^2\text{)}$$

Tablica 1: Rezultati ispitivanja statičkog modula elastičnosti betona

| Dimenzije uzorka (mm) | Vrijednost tlačne čvrstoće (N/mm ²) | 1/3 vrijednosti tlačne čvrstoće (N/mm ²) | Masa uzorka (kg) | Statički modul elastičnosti (N/mm ²) |
|-----------------------|---|--|------------------|--|
| | | | | |
| | | | | |
| | | | | |



2. Dinamički modul elastičnosti betona HRN EN 12504-4

Određuje se pomoću mjerenja brzine prolaza ultrazvučnog pulsa. Brzina ultrazvučnih vibracija koje putuju kroz elastični materijal definirana je izrazom:

$$v = \sqrt{\frac{E_{cd} \cdot (1 - \nu)}{\rho \cdot (1 + \nu) \cdot (1 - 2\nu)}} \quad (m/s)$$

$$E_{cd} = \frac{v^2 \cdot \rho \cdot (1 + \nu) \cdot (1 - 2\nu)}{(1 - \nu)} \quad (N/mm^2)$$

$$v = l/t \quad (m/s)$$

Gdje je:

E_{cd} – dinamički modul elastičnosti (N/mm^2)

ρ – gustoća (kg/m^3)

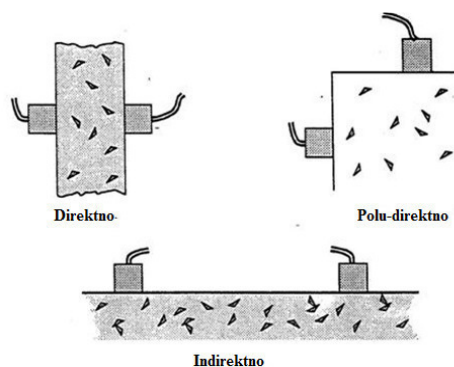
ν – Poissonov koeficijent ($\nu=0,15$)

l – duljina uzorka (udaljenost sondi) (m)

t – vrijeme prolaza ultrazvuka (μs)

Ovisnost statičkog i dinamičkog modula elastičnosti:

$$E_{cs} = 1,25 \cdot E_{cd} - 19 \quad (kN/mm^2)$$



Uređaj za mjerenje brzine prolaza ultrazvučnog impulsa prikazan je na slici. Sastoji se od dvije sonde (odašiljača i prijemnika) i uređaja za bilježenje podataka. Postupak mjerenja: sonde se prislone na uzorak ili konstrukciju kako je prikazano na slici 3, te se pokrene uređaj kojim se ultrazvučni impuls provodi s odašiljača na prijemnik i mjeri (bilježi) se vrijeme potrebno za prolaz ultrazvučnog impulsa između sondi.

Tablica 2: Dinamički modul elastičnosti betona

| Duljina uzorka (m) | Masa uzorka (kg) | Volumen uzorka (m^3) | Gustoća betona (kg/m^3) | Vrijeme prolaza ultrazvučnog impulsa t (s) |
|---|------------------|--|--|--|
| | | | | |
| | | | | |
| Srednje vrijeme prolaza t_s (s) | | Brzina prolaza ultrazvučnog impulsa v (m/s) | E_{cd} (N/mm^2) | E_{cs} (N/mm^2) |
| | | | | |



3. Modul elastičnosti drva HRN EN 408:2011

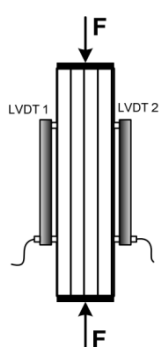
Oprema potrebna za vježbu:

- preša za ispitivanje čvrstoće drva
- pomično mjerilo
- induktivni tenzometar - LVDT

Postupak ispitivanja modula elastičnosti drva:

- Statički mjerenjem deformacija
- Mjerenjem brzine prolaska ultrazvuka

Statički mjerenjem deformacija modul elastičnosti određuje se na uzorku oblika prizme, dimenzija 50 mm x 50 mm x 300 mm. Na uzorak se postavlja induktivni tenzometar-LVDT s dvije nasuprotne strane te se na uzorak djeluje tlačnom silom. LVDT je elektromehanički pretvarač koji pravocrtne pomake objekta za koji je mehanički pričvršćen pretvara u odgovarajući električni signal. Ovisno o izvedbi, moguće je mjerenje pomaka od tisućinke milimetra pa sve do 0,5m.



Veličina uzorka se određuje na način da je njegova duljina minimalno 6 puta veća od manje stranice poprečnog presjeka. Uzorak se opterećuje u centru konstantnom brzinom. Deformacije se mjere na udaljenosti koja je jednaka 4 širine poprečnog presjeka (manja stranica). Nakon ispitivanja je potrebno napraviti grafikon sila-deformacija na način da se prikažu deformacije uzrokovane opterećenjem između $0,1 F_{max,est}$ i $0,4 F_{max,est}$. Za potrebe izračuna modula elastičnosti, na grafu odabiremo parametre kod kojih je korelacijski koeficijent jednak 0,99 ili više te se modul elastičnosti računa prema izrazu:

$$E_{c,0} = [l_1(F_2 - F_1)] / [A(w_2 - w_1)],$$

gdje su F_1 i F_2 sile koje uzrokuju deformacije w_1 i w_2 .

Modul elastičnosti drva mjerenjem brzine prolaza ultrazvuka određuje se mjerenjem brzine prolaza ultrazvučnog pulsa. Uređaj za mjerenje sastoji se od dvije sonde (prijemnik i odašiljač) i uređaja za bilježenje podataka. Uređaj sa sondama je prikazan na slici u prethodnoj vježbi određivanja dinamičkog modula elastičnosti betona. Postupak mjerenja jednak je kao i kod betona. Poissonov koeficijent za drvo manje tvrdoće kreće se od 0,3 do 0,46. Dinamički modul elastičnosti računa se prema formuli navedenoj u vježbi ispitivanja dinamičkog modula elastičnosti betona.

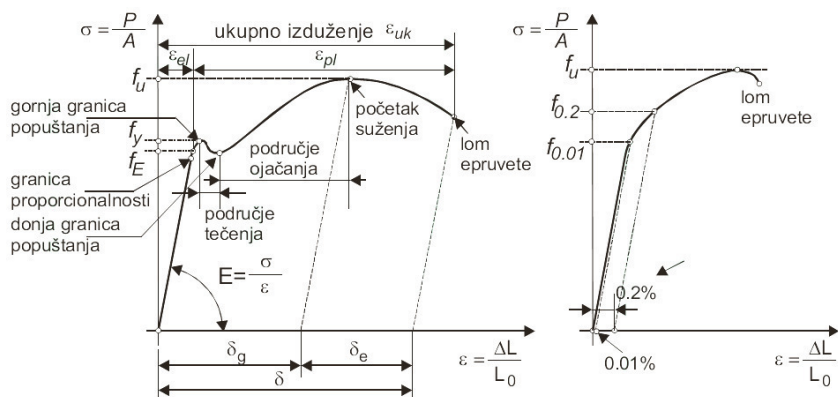
| Oznaka uzorka | Dimenzije uzorka (mm) | Težina uzorka g (N) | Mjerna duljina ispitivanja ultrazvukom l (cm) | Vrijeme prolaska ultrazvuka t (μs) | Sila F ₁ (N) | Sila F ₂ (N) |
|---|-----------------------|---------------------|--|--|-----------------------------|-----------------------------|
| | | | | | | |
| | | | | | | |
| | | | | | | |
| Statički modul elastičnosti $E_{c,0}$ (Mpa) | | | Dinamički modul elastičnosti E_d (Mpa) | Površina na koju djeluje sila A (mm ²) | Deformacija w_1 | Deformacija w_2 |
| | | | | | | |



4. Modul elastičnosti čelika HRN EN 10002-1:2001

Oprema potrebna za vježbu:

- preša za ispitivanje čvrstoće čelika
- pomično mjerilo



A/ Čelici s izraženim plastičnim ponašanjem B/ Čelici bez izražene granice popuštanja

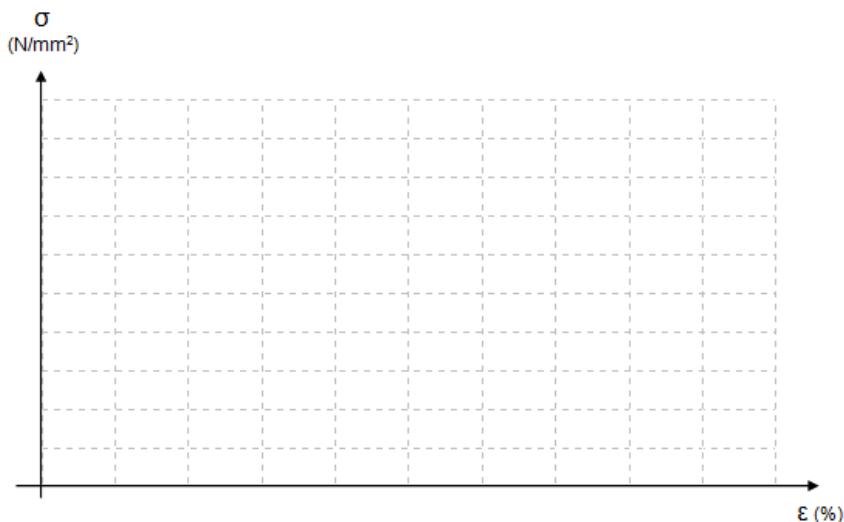
Utvrđivanje mehaničkih svojstava čelika vrši se vlačnim ispitivanjem u posebnom uređaju (kidalici) na epruveti dimenzija i oblika prema standardu ISO 6982-1:2009. Postupak ispitivanja biti će prikazan na čeličnoj epruveti kružnog poprečnog presjeka čiji promjer i visinu je potrebno izmjeriti prije postavljanja u čeljusti kidalice. Nakon postavljanja epruvete u čeljusti na nju se postavlja ekstenzometar kojim se vrši bilježenje deformacije u vremenu. Prije početka ispitivanja vrši se kalibracija uređaja

i postavljanje mjerača sile i deformacije u nultu stanje. Nanošenje sile se vrši kontrolom deformacije, i to u iznosu 0,025 %/s do granice popuštanja, a zatim u iznosu 0,8 %/s. Iz radnog dijagrama dobivenog ispitivanjem utvrđuju se vrijednosti čvrstoća u MPa, na cijeli broj, postotak izduženja pri granici popuštanja na prvu decimalu, te modul elastičnosti na cijeli broj u GPa. Utvrđene vrijednosti upisuju se u Tablicu 1, a zatim se pomoću njih konstruira radni dijagram (Grafikon 1).

Tablica 1: Rezultati ispitivanja čeličnog uzorka

| Promjer (mm) | Površina (mm ²) | Sila pri popuštanju (N) | Deformacija pri popuštanju (%) | Najveća sila (N) | Deformacija pri najvećoj sili (%) |
|--------------------------|-----------------------------|-------------------------|--------------------------------|------------------|-----------------------------------|
| | | | | | |
| Deformacija pri lomu (%) | Granica popuštanja (MPa) | Vlačna čvrstoća (MPa) | Modul elastičnosti (GPa) | | |
| | | | | | |

Grafikon 1: Radni dijagram ispitivanog čelika



Datum: _____

Potpis asistenta: _____



1. Tvrdoća materijala

Oprema potrebna za vježbu:

- uređaj za određivanje tvrdoće čelika,
- bakrena žica, čelična oštrica, staklo

Tvrdoća materijala je otpornost materijala na prodiranje u njegovu sredinu.

Načini ispitivanja tvrdoće materijala:

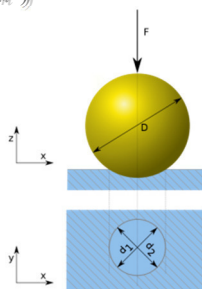
- ispitivanje tvrdoće utiskivanjem po Brinellu (HB)
- ispitivanje tvrdoće utiskivanjem po Vickersu (HV)
- ispitivanje tvrdoće po Rockwellu (HR)

Tvrdoća po Brinellu je mjera otpornosti što ga materijal pruža prodiranju kuglice promjera D opterećene silom F.

$$HB = \frac{0,204 \cdot F}{\pi \cdot D \cdot (D - \sqrt{D^2 - d^2})} \quad (N/mm^2)$$

$$HB = \frac{F}{\pi \cdot D \cdot h} \quad (N/mm^2)$$

F – sila (N)
D – promjer kuglice (mm)
d – promjer utisnute kugline kalote (mm)
h – dubina udubljenja

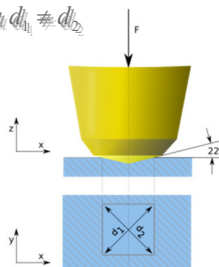


Tvrdoća po Vickersu je mjera otpornosti što ga neki materijal pruža prodiranju dijamantne piramide opterećene silom F.

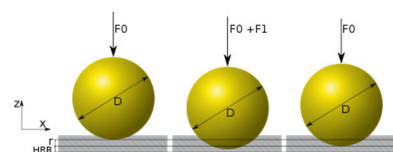
$$HV = 0,189 \cdot \frac{F}{d^2} \quad \text{za } d_1 = d_2$$

$$HV = 0,189 \cdot \frac{F}{d_1 \cdot d_2} \quad \text{za } d_1 \neq d_2$$

d_1 i d_2 – dijagonale rubova otiska (mm)



Tvrdoća po Rockwellu određuje se mjerenjem dubine otiska.



Ispitivanje tvrdoće čelika

Uzorak čelika oblika valjka ispitivat će se uz pomoć uređaja prikazanog na slici. Prvi korak prije ispitivanje jest izvršiti kalibriranje uređaja uz pomoć standardnog uzorka. Nakon kalibriranja odaberemo materijal iz postojećeg menija na uređaju kojem ćemo mjeriti tvrdoću. Odaberemo jednu od standardnih skala (HB, HR, HV) preko koje želimo očitati tvrdoću. Odaberemo smjer udara kuglice u odnosu na površinu materijala. Postavimo uređaj za mjerenje vertikalno u odnosu na površinu materijala (ako smo taj smjer odabrali kao mjerodavan), pritisnemo gumb na uređaju, kako je prikazano na slici, i postupak ponovimo 5 puta. U tablicu zabilježimo očitane vrijednosti.



Tablica 1: Tvrdoća čelika

| Materijal | Brinell (HB) | Vickers (HV) | Rockwell (HR) | Vlačna čvrstoća čelika (R_m) |
|--------------------|--------------|--------------|---------------|----------------------------------|
| | | | | |
| | | | | |
| | | | | |
| | | | | |
| Srednja vrijednost | | | | |



Mohsova skala tvrdoće

Mohsovu skalu je prvi predložio njemački mineralog Frederich Mohs (1773-1839), izabравši deset dostupnih minerala. Skala nije linearna: tvrdoća dijamanta nije deset puta veća od talka (dijamant je puno tvrdi). Mohsova skala tvrdoće je empirijska skala prema kojoj se tvrdoća čvrstih supstanci određuje uspoređivanjem s 10 referentnih minerala, rangiranih od 1 do 10 na sljedeći način:

Tablica 2: Mohsova skala tvrdoće

| Materijal | Tvrdoća |
|---------------------|---------|
| Dijamant | 10 |
| Korund | 9 |
| Topaz | 8 |
| Kvarc | 7 |
| Ortoklas (Feldspat) | 6 |
| Apatit | 5 |
| Flourit | 4 |
| Kalcit | 3 |
| Gips | 2 |
| Talk | 1 |

Tablica 3: Primjer odnosa vrijednosti Mohsova skala-Vickers

| Materijal | Mohsova skala | Vickers HV (kg/mm ²) |
|-----------|---------------|----------------------------------|
| Grafit | 1-2 | 7-11 |
| Zlato | 2,5 | 30-34 |
| Srebro | 2,5 | 61-65 |
| Bakar | 2,5-3 | 77-99 |

Mineral koji je "viši" u Mohsovoj skali ima i veću tvrdoću. Ukoliko nepoznata tvar može zarezati površinu minerala iz Mohsove skale, ona je tvrđa od tog minerala. Za određivanje relativne tvrdoće koristi se Mohsova skala, gdje su poredani najčešći minerali u skali 1-10. Minerali iz grupe 1-2 paraju se noktom, 3 bakrenom žicom, 4-5 čeličnom oštricom. Minerali iz grupe 7-9 ostavljaju trag na staklu, a dijamant (10) reže staklo.

Datum: _____

Potpis asistenta: _____

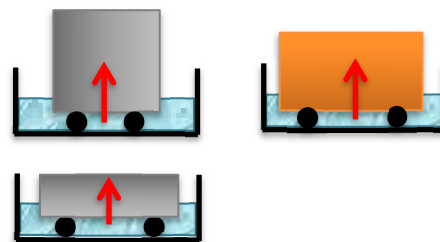


1. Kapilarno upijanje vode (apsorpcija)

Oprema potrebna za vježbu:

- betonska kocka - 1komad - suha
- betonski opločnik - 1komad - suh
- glinena opeka – 1komad – suha
- vaga do 10 kg
- pomično mjerilo

Kapilarno upijanje vode je proces upijanja medija u materijal i njegov transport putem kapilara. Vodoupojnost će se određivati na betonskoj kocki izrađenoj od monolitnog betona, betonskom opločniku izrađenom od prešanog betona, glinenoj opeci i uzorku drveta. Uzorci se prije uranjanja u vodu izvažu (m_0). Uzorci se zatim uranjaju u posudu s vodom koso prema površini vode da se onemogući stvaranje mjehurića zraka. Nakon 15 min stajanja u vodi, uzorci se izvade iz vode, ocijede obrišu krpom i važu (m_{15}). Postupak ponavljamo, te nakon sljedećih 15 minuta zabilježimo izvaganu masu (m_{30}), zatim (m_{45}). Pri tome treba paziti da uvijek uranjamo istu plohu u vodu. Za praktičnu primjenu postupak traje 24 sata, a vremenski intervali mjerenja su duži. Nakon vaganja izračuna se kapilarno upijena voda u pojedinim vremenskim intervalima i izrazi kao upijanje po jedinici površine.



| SVOJSTVO | | | Betonska kocka | Betonski opločnik | Glinena opeka |
|--|---|-----------------|----------------|-------------------|---------------|
| Masa suhog uzorka | m_0 | kg | | | |
| Masa nakon 15 min. upijanja vode | m_{15} | kg | | | |
| Masa nakon 30 min. upijanja vode | m_{30} | kg | | | |
| Masa nakon 45 min. upijanja vode | m_{45} | kg | | | |
| Površina uronjena u vodu | A | m^2 | | | |
| Koeficijent vodoupojnosti (w_{15}) nakon 15 min. | $\frac{m_{15} - m_0}{A \cdot \sqrt{t}}$ | $kg/m^2s^{0,5}$ | | | |
| Koeficijent vodoupojnosti (w_{30}) nakon 30 min. | $\frac{m_{30} - m_0}{A \cdot \sqrt{t}}$ | $kg/m^2s^{0,5}$ | | | |
| Koeficijent vodoupojnosti (w_{45}) nakon 45 min. | $\frac{m_{45} - m_0}{A \cdot \sqrt{t}}$ | $kg/m^2s^{0,5}$ | | | |
| Upijena voda nakon 15 min. (A_{15}) | $\frac{m_{15} - m_0}{A}$ | kg/m^2 | | | |
| Upijena voda nakon 30 min. (A_{30}) | $\frac{m_{30} - m_0}{A}$ | kg/m^2 | | | |
| Upijena voda nakon 45 min. (A_{45}) | $\frac{m_{45} - m_0}{A}$ | kg/m^2 | | | |



2. Početno površinsko upijanje vode

Oprema potrebna za vježbu:

- pijesak 0-4 mm - 2 kg - potopljen u vodi i suh
- agregat 4-32 mm - 2 kg - potopljen u vodi i suh
- vaga do 10 kg, vaga za vaganje pod vodom do 10 kg sa žičanom košaricom
- plinski plamenik, zdjele, žlice, krpe

Krupni agregat: Ispitivanje se provodi na agregatu veličine zrna 4 mm do 32 mm s kojega su ranije odstranjene glinovite i prašinate čestice i koji je potopljen u vodi (zasićen s vodom) 24 sata. Takav agregat se izvaže na zraku (m_{wv}), ocijedi i obriše krpom tako da se vidljivi sloj vode (površinska vlažnost) odstrani. Tako dobiven zasićen površinski suh agregat (m_{zps}) ponovo se izvaže na zraku (m_z) i pod vodom (m_{zw}). Nakon toga se agregat suši na temperaturi 105°C do stalne mase (za potrebe vježbi oko 1 sat na plinu), te se tako osušen hladi i važe (m_d).

Sitni agregat: Ispitivanje se provodi na sitnom agregatu (pijesku) veličine zrna 0 mm do 4 mm koji je potopljen u vodi barem 24 sata (zasićen s vodom). Izvaže se vlažan pijesak (m_{wv}) na zraku tako da se višak vode pažljivo odlije iz posude za vaganje. Uzorak se zatim suši na plinu uz konstantno miješanje dok ne ocijenimo da je zasićen površinski suh. Tada se kalup oblika krnjeg stošca položi širom bazom na podlogu, napuni pijeskom i lagano nabije s 25 udaraca šipkom. Ako uzorak ima još površinske vlažnosti, nabijeni će uzorak zadržati oblik stošca nakon što se kalup digne. Sušenje treba nastaviti, a ispitivanje ponavljati sve dok se zbijeni uzorak nakon podizanja kalupa ne osipa. Tada kažemo da je pijesak zasićen površinski suh i izvažemo ga na zraku (m_z). Zatim se uzorak stavi u piknometar, prelije vodom i promiješa sve dok svi mjehurići zraka ne izađu na površinu. Tada se nadolije voda na uzorak pijeska do označenog nivoa na gornjem dijelu piknometra, piknometar se obriše i odredi se njegova masa (piknometar+pijesak+voda, (m)). Uzorak se izvadi iz piknometra, osuši do stalne mase i izvaže se suh pijesak (m_d). Za proračun je također potrebno izvagati piknometar ispunjen s vodom do označenog nivoa (m_{Bw}).

| SVOJSTVO | | | MATERIJAL | |
|--|-------------------|----------|----------------|---------------|
| | | | Krupni agregat | Sitni agregat |
| Opis svojstva | Oznaka | Jedinica | | |
| Masa vlažnog materijala | m_{wv} | g | | |
| Masa zasićenog površinski suhog materijala | vaganog na zraku | m_z | g | |
| | vaganog pod vodom | m_{zw} | g | ---- |
| Masa suhog materijala | m_d | g | | |

| SVOJSTVO | | FORMULE | MATERIJAL | |
|---------------------------|--------------|--|----------------|---------------|
| | | | Krupni agregat | Sitni agregat |
| Apsorbirana voda A_w | (% mase) | $\frac{m_z - m_d}{m_d} \cdot 100$ | | |
| | (% volumena) | $\frac{(m_z - m_d) \cdot \rho}{m_d \cdot \rho_w} \cdot 100$ | | |
| Površinska vlažnost A_s | (% mase) | $\frac{m_{wv} - m_z}{m_d} \cdot 100$ | | |
| | (% volumena) | $\frac{(m_{wv} - m_z) \cdot \rho}{m_d \cdot \rho_w} \cdot 100$ | | |
| Vlažnost W | (% mase) | $\frac{m_{wv} - m_d}{m_d} \cdot 100$ | | |
| | (% volumena) | $\frac{(m_{wv} - m_d) \cdot \rho}{m_d \cdot \rho_w} \cdot 100$ | | |



3. Vлага u materijalu

Oprema potrebna za vježbu:

- uzorak drva za ispitivanje vlage
- uređaj za ispitivanje sadržaja vlage u drvu
- pomično mjerilo

Uređaj za mjerenje vlage u drvu, prikazan na slici, podesi se s obzirom mjerimo li tvrdo ili mekano drvo. Na dršci uređaja nalaze se dva metalna šiljka koja se razlikuju svojom dužinom ovisno o tome koju vrstu drva ispitujemo. Ručku sa šiljcima zabodemo u materijal tako da oba kraka budu ravnomjerno u materijalu. Pritiskom i držanjem tipke „Weich holz“ očitamo količinu vlage u drvu izraženu u %. Dopuštena vrijednost vlage u građevinskom drvu je 12%, npr. za parket se zahtjeva maksimalna vlažnost drva od 10%. Dimenzije uzorka drveta na kojemu vršimo ispitivanje nisu propisane jer se mjerenje može vršiti i direktno na konstrukciji. Bitno je da se šiljci mogu ravnomjerno ubosti u drvo, te da nam na konstrukciji ili uzorku ne predstavljaju problem tragovi koje ti šiljci ostavljaju.



| Opis svojstva | % |
|------------------------------------|---|
| Vlaga u materijalu | |
| | |
| Srednja vrijednost izmjerene vlage | |

Datum: _____

Potpis asistenta: _____



1. Određivanje gustoće cementa

Materijali potrebni za vježbu:

- cement 3kg
- 300 cm³ terpentina

Oprema potrebna za vježbu:

- vaga točnosti 0,5g
- lopatica za cement
- posuda za vaganje cementa
- Le Chatelierova tikvica za određivanje gustoće

Gustoća cementa se određuje pomoću standardne Le Chatelierove tikvice. Grlo tikvice je u donjem dijelu graduirano od 0 cm³ do 1 cm³, a u gornjem dijelu od 18 cm³ do 24 cm³. Između ova dva dijela nalazi se zadebljanje od 17 cm³. Tikvica se napuni terpentinom temperature oko 20°C do nivoa između 0 i 1 na donjem dijelu grla. Nivo se zabilježi. Nakon toga se u tikvicu ubaci točno odvagana količina cementa. Količina materijala ovisi o očekivanoj gustoći. Za cement čija je gustoća između 2,9 g/cm³ i 3,15 g/cm³ odvažuje se 65 grama. Pri tome treba paziti da se materijal ne hvata na stjenke tikvice iznad konačnog nivoa tekućine. Boca se začepi i rotira kako bi izašli mjehurići zraka iz ispitivanog uzorka, odnosno da bi tekućina ispunila sav prostor između čestica cementnog praha. Konačni nivo tekućine (terpentina) će biti na gornjem graduiranom dijelu grla tikvice, te ga nakon rotiranja očitamo. Razlika tekućine prije i nakon ubacivanja uzorka cementa u tikvicu predstavlja volumen ispitivanog uzorka. Gustoća se izračuna dijeljenjem mase uzorka cementa s očitanim volumenom i unosi se u Tablicu 1.

Tablica1: Rezultati ispitivanja gustoće cementa

| GUSTOĆA CEMENTA | | | | |
|-----------------|-------------------------|----------------------------|-------------------|--|
| Nivo tekućine | prije dodavanja cementa | V_1 | cm ³ | |
| | nakon dodavanja cementa | V_2 | cm ³ | |
| Cement | masa | m_c | g | |
| | volumen | $V_c = V_2 - V_1$ | cm ³ | |
| Gustoća | | $\rho_c = \frac{m_c}{V_c}$ | g/cm ³ | |

2. Ispitivanje finoće mliva cementa

Finoća mliva cementa može se ispitivati metodom prosijavanja kroz sito otvora 0,09 mm ili mjerenjem specifične površine (S) po Blaine-u. Finije mljeveni cementi daju veće čvrstoće, brže očvršćavaju, razvijaju više topline prilikom vezanja, više su skloni promjeni obujma, osjetljivi su na promjenu dodatka vode i na agresivne tvari.

Oprema potrebna za vježbu:

- Sito otvora 0,09 mm
- Blaine-ov aparat

Finoća mliva metodom prosijavanja

Finoća mljevenja metodom prosijavanja određuje se ručnim ili mehaničkim prosijavanjem uzorka cementa kroz sito veličine otvora 0,09 mm. Odvažuje se 10 g cementa i prosijava dvije minute, odnosno dok kroz sito više ne prolazi fini materijal. Ostatak na situ se izvažuje i njegova masa izrazi kao maseni postotak R₁.

$$R_1 = \frac{m_0}{m} \cdot 100(\text{mas}\%)$$

gdje je: m₀ - masa ostatka cementa na situ
m - početna masa uzorka cementa (10 g).

Cijeli postupak se ponovi s novim uzorkom od 10 g da bi se dobila vrijednost R₂. Ostatak cementa R nakon prosijavanja dobije se kao prosjek R₁ i R₂. Ako se dobiveni rezultat razlikuje za više od 1% izvrši se treće prosijavanje i izračuna prosjek triju vrijednosti.

Tablica 2. Rezultati prosijavanja cementa

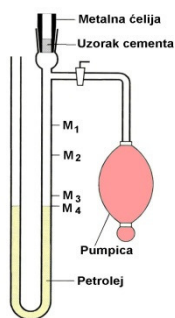
| | m ₀ (g) | m (g) | R ₁ ; R ₂ (%) | R (%) |
|----------|--------------------|-------|-------------------------------------|-------|
| Uzorak 1 | | | | |
| Uzorak 2 | | | | |



Metoda propusnosti zraka, Blaineova metoda

Finoća cementa određuje se kao specifična ploština promatranjem vremena potrebnog da određeni obujam zraka prođe kroz zbijeni cementni sloj specificiranih dimenzija i poroznosti.

Pri normalnim uvjetima specifična ploština cementa razmjerna je \sqrt{t} , gdje je t vrijeme potrebno da određeni obujam zraka prođe kroz zbijeni cementni sloj. Broj i omjer veličina pojedinih pora u uzorku određeni su raspodjelom veličine čestica cementa koja određuju vrijeme prolaza zraka.



Ispitivanje se izvodi u Blaineovom aparatu (slika 1) mjerenjem propusnosti zraka kroz cementni uzorak mase 2,7 g koji je zbijen po propisanom postupku metalnim klipom, u metalnom cilindru koji na donjem dijelu ima izbušenu metalnu pločicu prekrivenu filter papiirom.

Vrh cilindra zatvori se originalnim čepom, a pomoću gumene pumpice pri otvorenoj dvokrakoj slavini isiše se zrak iz desnog kraka cjevčice tako da se tekućina popne do oznake M₁ i zatim se slavina zatvori. Nakon uklanjanja čepa s vrha cilindra zbog djelovanja stupca tekućine u desnom kraku, vanjski zrak počinje strujati kroz uzorak. Kada se razina tekućine spusti do oznake M₂ pokrene se zaporni sat i mjeri se vrijeme padanja tekućine od M₂ do M₃, čime je određena brzina strujanja zraka kroz uzorak.

Slika 1 Blaineov aparat

Na temelju izmjerenih podataka izračunava se specifična ploština cementa po formuli:

$$S = \frac{\rho_0}{\rho} \cdot \frac{\sqrt{t}}{\sqrt{t_0}} \cdot S_0 (\text{cm}^2 \text{g}^{-1})$$

- gdje je: S - specifična ploština uzorka cementa
 S₀ - specifična ploština referentnog uzorka cementa
 ρ - gustoća uzorka cementa
 ρ₀ - gustoća referentnog uzorka cementa
 t - mjereno vrijeme cementa koji se ispituje
 t₀ - prosjek triju vremena mjerenih na referentnom uzorku cementa

Što je cement finiji manja je brzina strujanja zraka kroz uzorak i veća specifična ploština, koja se izražava kao ploština svih zrnaca uzorka cementa (cm²) mase 1 grama. Specifična ploština cementa treba biti veća od 2400 cm² g⁻¹.

Uz stalan kemijski i mineraloški sastav klinkera čvrstoća cementa zavisi osim o specifičnoj ploštini i o raspodjeli veličine čestica. Mnogobrojni pokusi i teorijska razmatranja doveli su do zaključka da je za proizvodnju cementa s najboljim razvojem čvrstoća bitno da cement sadrži što veći broj čestica između 3 i 30 μ, jer je to frakcija koja određuje kakvoću (QCF-quality control fraction). Najsitnije čestice manje od 3μ hidratiziraju prebrzo čak prije pripreme betona, a obično su siromašne mineralima klinkera i ne pridonose očvršćivanju. Krupnije čestice veće od 30 μ hidratiziraju za vrijeme očvršćivanja, ali samo na površini. Za proizvodnju cementa najvišeg razreda potrebno je da udio čestica od 3 do 30 μ bude najmanje 70 %.

Tablica 3: Rezultati ispitivanja finoće mliva Blaine-ovim aparatom

| | |
|---|--------------|
| ρ (g/cm ³) | |
| ρ ₀ (g/cm ³) | 3,252 |
| t (s) | |
| t ₀ (s) | 52,7 |
| S ₀ (cm ² g ⁻¹) | 3818 |
| S (cm ² g ⁻¹) | |

Datum: _____

Potpis asistenta: _____



1. Lužine i kiseline – mjerenje pH vrijednosti uz pomoć indikatora

Materijali potrebni za vježbu:

- Vapnena otopina
- Otopina cementa
- Voda
- Otopina sode bikarbone
- Otopina sapuna
- Otopina kuhinjske soli
- Limunska kiselina
- Ocat
- Otopina crvenog kupusa
- Papirnati ubrusi

Oprema potrebna za vježbu:

- Staklene posude
- Plavi i crveni lakmus papir

Na standardnoj temperaturi (25° C) pH vrijednost neutralne otopine je 7.0. Otopine s pH vrijednošću ispod 7.0 su kisele, dok su otopine s pH vrijednošću iznad 7.0 lužnate. Zbog prisutnih iona, lužine provode električnu struju i stoga su elektrolitske otopine.



Lužine se u kemiji nazivaju vodene otopine alkalija koje reagiraju izrazito lužnato, a pH-vrijednost im je veća od 7. Zbog viška hidroksidnih iona (-OH) pri dodiru s lakmus indikatorom daju tamnoplavu obojenost.

Kiseline (često predstavljene općom formulom HA [H+A-]) su kemijski spojevi koji sadrže pH vrijednost nižu od 7,0 kada se rastopi u vodi, što je nalik suvremenoj definiciji Johannes Nicolausa

Brønsteda i Martina Lowryja koji su nezavisno opisali kiselinu kao kemijski spoj koji daje vodikov ion (H+) drugom spoju (koji se naziva lužinom). Kiseline se sastoje od vodika i kiselnog ostatka. Plavi lakmus indikator se pretvara u crveni pri izloženosti kiselim uvjetima. Većina kiselina može nadražiti kožu pri izravnom dodiru te nagrizati metale.



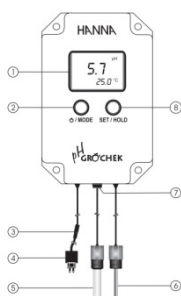
Kao indikator za određivanje pH vrijednosti osim gore spomenutih indikatora u obliku lakmus papira kao indikator se može primjeniti i lakmus pripremljen u obliku otopine, a funkcionira na sličan način kao i papir. Pod kiselim uvjetima je crven, i pod lužnatim uvjetima otopina je plava.

Neutralizacija je reakcija između kiseline i lužine što za produkt ima sol i vodu.

2. Lužine i kiseline – mjerenje pH vrijednosti uz pomoć pH-metra

Materijali potrebni za vježbu:

- Vapnena otopina
- Otopina cementa
- Voda
- Otopina sode bikarbone
- Otopina sapuna
- Otopina kuhinjske soli
- Limunska kiselina
- Ocat
- Papirnati ubrusi



Oprema potrebna za vježbu: staklene posude i pH-metar

Na slici je prikazan je izgled pH-metra. PH-metrom je moguće očitavanje temperature okoline i digitalno očitavanje vrijednosti temperature i pH. Instrument se uključuje u električnu mrežu preko posebnog adaptera (transformatora - ispravljača) koji je prikazan u donjem dijelu slike, (3),(4). Desno od njega se vidi tzv. staklena elektroda (5) koja je posebnim kabelom također priključena za instrument. To je u osnovi staklena cijev koja se na donjem kraju završava mjehurićem od polupropustljivog stakla. Cijev i mjehurić su iznutra ispunjeni puferskom otopinom (3M KCl) u koji je uronjena standardna elektroda. Elektroda je osjetljiva na atmosferske utjecaje i zato se, kada se sa pH-metrom ne radi, stalno drži u zasićenom rastvoru KCl. Ako ju čuvamo u suhom stanju prije upotrebe potrebno ju je uroniti u otopinu s pH 7,00 (nikada ne koristiti destiliranu vodu) min. sat vremena. Elektroda za mjerenje temperature prikazana je na slici i označena s (6). Elektrode je potrebno kalibrirati uz pomoć dvije standardne otopine. Standardne otopine imaju pH 7,00 i 4,01, jer se većina mjerenja nepoznatog pH uzorka odvija u ovom intervalu.



Ukoliko se u uzorku očekuju neke druge vrijednosti, trebalo bi izabrati standardne otopine tako da njihov pH obuhvati pH uzorka (jedna od dvije standardne otopine obično ima pH 7,00). Za kalibriranje su dovoljne dvije standardne otopine jer je elektrodni potencijal linearna funkcija pH.

Postupak određivanja pH uzorka ima više faza:

1. Priprema uzorka

- priprema standardnih otopina pH 7,00 i 4,01
- priprema uzoraka za ispitivanje

2. Kalibriranje

- pritisnuti i držati gumb MODE dok se ne pojavi naredba TEMP
- ponovo pritisnuti MODE i odrediti koju otopinu koristimo za kalibriranje
- pritisnuti gumb SET/HOLD ako želimo promijeniti, a s MODE izlazimo i potvrđujemo odabrano
- isprati elektrodu vodom
- obrisati elektrodu papirnatim ubrusom
- pritisnuti gumb MODE i držati ga dok se ne pojavi CAL, pustiti gumb
- uroniti elektrodu u standardnu otopinu čije je pH 7,00
- kada se na ekranu pojavi pH 4,01 uroniti elektrodu u standardnu otopinu čije je pH 4,01
- na displeju će se prikazati naredba OK
- pritisnuti gumb MODE kako bi se vratili u normalni mod za mjerenje
- isprati elektrodu vodom
- obrisati elektrodu papirnatim ubrusom

**3. Mjerenje pH uzorka**

- uroniti elektrode u otopinu uzorka
- očitati vrijednosti pH

Napomena: Ako ima više uzoraka, opisani postupak se ponavlja za svaki uzorak.

4. Završetak rada

- na opranu i obrisanu elektrodu vratiti crni čep sa zasićenim rastvorom KCl
- isključiti pH-metar
- fizički isključiti instrument iz električne mreže.

Završna napomena:

Ako instrument isključimo na opisani način, pri ponovnom uključivanju ga ponovo moramo kalibrirati pomoću dvije standardne otopine. S druge strane, jednom kalibriran instrument ostaje podešen sve dok ga ne isključimo.

Datum: _____

Potpis asistenta: _____