

4. vaja: POSPEŠENO STRJEVANJE BETONA

1. SPLOŠNO

Hitrejši prirast zgodnje trdnosti betona pride v poštev pri izdelavi prefabriciranih betonskih elementov, kjer je potrebno v sorazmerno kratkem roku sprostiti uporabljene kalupe in na ta način pospešiti proizvodni proces.

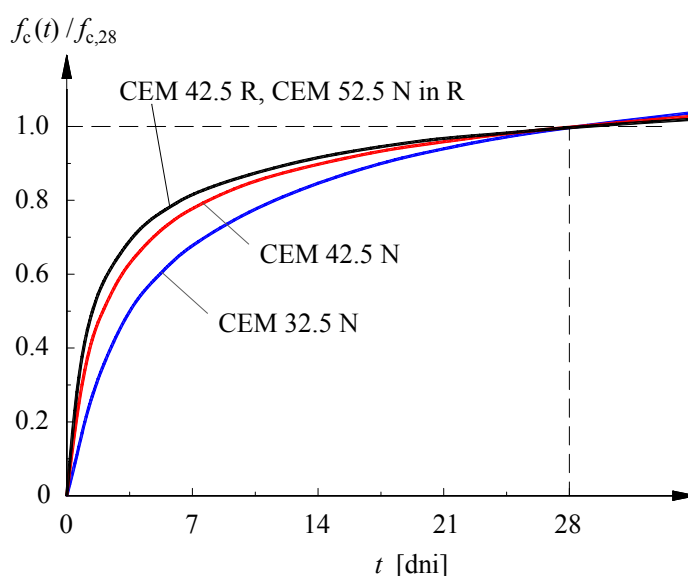
Poznamo tri osnovne skupine metod za doseg hitrejšega prirasta zgodnjih trdnosti betona:

- tehnološke,
- kemijske in
- fizične metode.

1.1 Tehnološke metode:

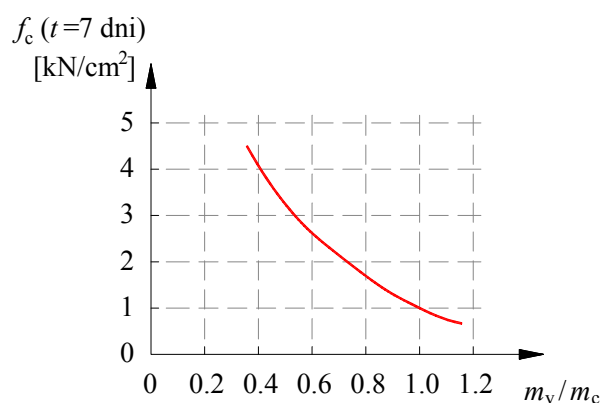
- uporaba ustrezne vrste in količine cementa:

- hitrejši prirast zgodnjih trdnosti pri cementih z višjo trdnostjo,
- uporaba večje količine cementa pospeši razvoj trdnosti



- uporaba nižjih vodocementnih faktorjev:

- nižji v/c faktor povzroča hitrejši potek procesa hidratacije cementa, kar ima za posledico višjo trdnost betona. Nižji v/c faktor dosežemo z:
 - uporabo plastifikatorjev in superplastifikatorjev,
 - vakumiranjem in centrifugiranjem (odvzem odvečne vode iz vgrajenega betona),
 - uporabo betonskih mešanic zemeljsko vlažnih (zelo suhih) konsistenc



- uporaba revibriranih betonov:

- revibriranje je naknadno vibriranje betona in sicer nekaj časa po zaključku vgrajevanja oziroma po prvem vibriranju,
- eksperimenti so pokazali, da se lahko z naknadnim vibriranjem znatno poveča trdnost betona in sicer se zgodnja trdnost betona (do 7 dni) poveča za 15-20 %, po 14 dneh pa je lahko tlačna trdnost večja že za 40 %, za 25 % pa se poveča tudi strižna trdnost,
- revibriranje se izvaja 1,5 do 3 ure po prvem vibriranju, 2 do 3-krat.
- z revibriranjem dosežemo:
 - povečanje gostote,
 - zaprtje finih por

1.2 Kemijske metode:

- uporaba dodatkov – pospeševalcev :

- kalcijev klorid (CaCl_2) - bistveno ne vpliva na vezanje cementa, vendar pa znatno pospeši proces strjevanja betona:
 - če dodamo 0.2 % od mase cementa → omogoča hitrejšje strjevanje v prvih 7 dneh,
 - če dodamo 2 % od mase cementa → po 7 dneh je dosežena trdnost, ki odgovarja 28 dni staremu betonu

1.3 Fizične metode:

Pri normalnih pogojih, t.j. pri temperaturi 20°C in pri relativni vlažnosti zraka okrog 70 % (običajen postopek negovanja), se nominalna tlačna trdnost betona doseže pri starosti 28 dni, 70 do 80 % trdnosti pa se razvije v času od 7 do 14 dni, odvisno do vrste cementa in od velikosti v/c faktorja.

Časovni razvoj tlačne trdnosti betona določa naslednji izraz (SIST EN 1992-1-1):

$$f_{\text{cm}}(t) = \beta_{\text{cc}}(t) f_{\text{cm}} \quad (1)$$

$$\beta_{\text{cc}}(t) = \exp \left\{ s \left[1 - \left(\frac{28}{t} \right)^{1/2} \right] \right\}$$

f_{cm} ... povprečna tlačna trdnost 28 dni starega betona,

t ... starost betona v dnevih,

$f_{\text{cm}}(t)$... povprečna tlačna trdnost betona pri starosti t ,

β_{cc} ... funkcija, ki določa časovni razvoj tlačne trdnosti,

s ... koeficient, odvisen od trdnostnega razreda cementa in je:

op.:

$$E_{\text{cm}}(t_T) = \beta_{\text{cc}}(t_T)^{0.3} E_{\text{cm}}$$

$$f_{\text{ck}}(t_T) = f_{\text{cm}}(t_T) - 0.8 \left[\text{kN/cm}^2 \right]$$

$$f_{\text{ctm}}(t_T) = \beta_{\text{cc}}(t_T)^a f_{\text{ctm}}$$

trdnostni razred cementa	s
CEM 32.5 N	0.38
CEM 32.5 R, CEM 42.5 N	0.25
CEM 42.5 R, CEM 52.5 N, CEM 52.5 R	0.2

• *toplotna obdelava* :

- strjevanje betona se lahko pospeši s povišanjem temperature, pri čemer se mora proces strjevanja odvijati v dovolj vlažni okolici. Na ta način se prepreči izparevanje vode iz betona in omogoči potek hidracije brez negativnih vplivov krčenja.
- toplotna obdelava se vrši pri:
 - normalnem pritisku in temperaturi do 100°C - *parjenje*,
 - povišanem tlaku (8-12 barov) in pri temperaturi višji od 100°C (autoklavi): 130-180°C

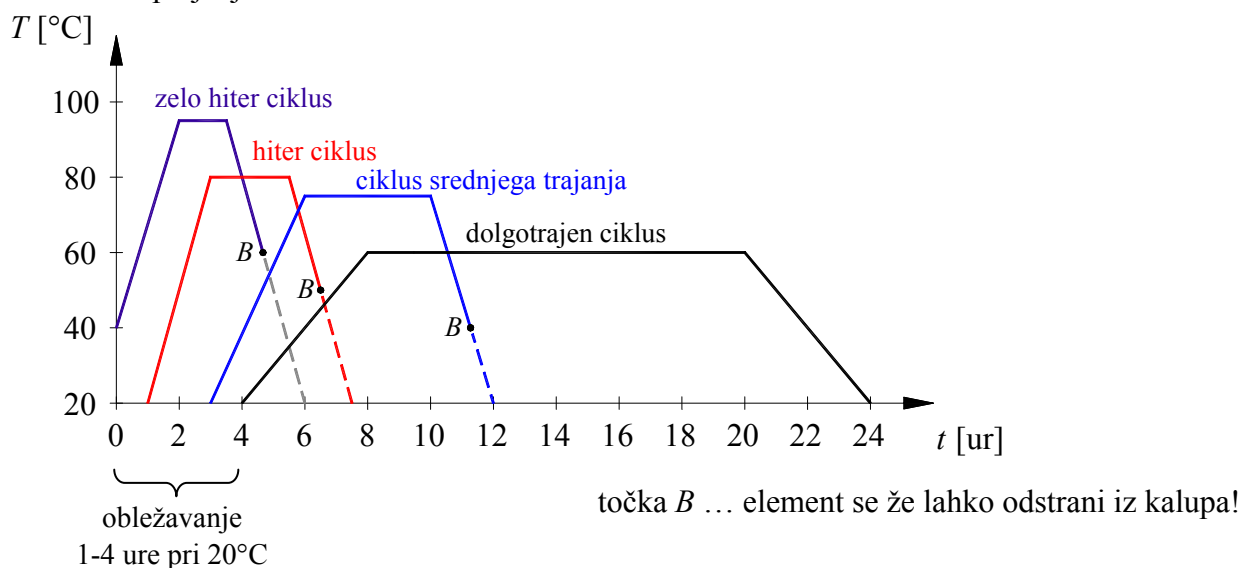
1.3.1 Proces parjenja

Proces parjenja poteka: - v posebnih komorah,

- na primitiven način: prekrivanje elementov s ceradami.

Elementi se segravajo od 60 do 95°C. Režim parjenja je v največji meri odvisen od lastnosti uporabljenega cementa.

Različni režimi parjenja:



Betoni iz portland cementa v času parjenja običajno dosežejo 70 % nominalne, t.j. tlačne trdnosti, ki jo imajo običajni betoni pri starosti 28 dni.

Parjeni betoni dosežejo po 28 dneh vsega 85 % nominalne trdnosti, celotno nominalno trdnost pa dosežejo šele po 3 mesecih ali pa celo nikoli.

V primeru parjenja prefabriciranih betonskih elementov se lahko povprečna tlačna trdnost betona $f_{cm}(t)$ pri času t ($t < 28$ dni) izračuna z izrazom (1), pri čemer starost betona t nadomestimo z učinkovito starostjo t_T , ki je odvisna od temperature parjenja in se izračuna z izrazom (SIST EN 1992-1-1):

$$t_T = \sum_{i=1}^n \Delta t_i e^{\left[13.65 - \frac{4000}{273 + T(\Delta t_i)/T_0}\right]}$$

t_T ... učinkovita starost betona v dnevih,

Δt_i ... časovni interval v dnevih,

$T(\Delta t_i)$... temperatura v i -tem časovnem intervalu [°C],

$T_0 = 1^\circ\text{C}$

Razvoj tlačne trdnosti betona po procesu parjenja do starosti 28 dni:

$$f_{cm}(t) = f_{cmp} + \frac{f_{cm} - f_{cmp}}{\log(28 - t_p + 1)} \log(t - t_p + 1)$$

$f_{cm}(t)$... povprečna tlačna trdnost betona pri starosti t po procesu parjenja

f_{cmp} ... povprečna tlačna trdnost betona takoj po parjenju (pri času t_p)

t_p ... čas zaključka procesa parjenja v dnevih

2. RAČUNSKI PRIMER

Kolikšna je dosežena tlačna (f_{cm} , f_{ck}) oziroma natezna trdnost (f_{ctm}) prefabriciranega betonskega elementa, ki je bil izpostavljen režimu parjenja, ki ga prikazujemo na spodnji sliki? Kakšen je nadaljni razvoj tlačne trdnosti do starosti 28 dni?

Uporabljen cement: CEM 42.5 R

Režim parjenja:

