

2. vaja: BETONIRANJE V EKSTREMNIH KLIMATSKIH RAZMERAH

1. SPLOŠNO:

Za ekstremne klimatske razmere smatramo razmere pri temperaturah nižjih od 5°C oziroma višjih od 30°C.

V kolikor je temperatura svežega betona nižja od 5°C, se glede na zunanjo temperaturo, ki se lahko zelo hitro spremeni, temperatura betona spusti tudi pod ledišče, kar privede do zmrzovanja betona, porušitve njegove strukture in do drastičnega zmanjšanja njegovih fizikalnih in mehanskih karakteristik.

Če je temperatura svežega betona višja od 30°C, zaradi hitrega odvijanja procesa hidratacije nastanejo produkti, ki imajo slabše mehanske karakteristike, tako da se v sami strukturi betona pojavi povečano število mikrorazpok.

Pri temperaturah, višjih od 30°C, se za ohranjanje zahtevane konsistence poveča potreba po vodi, kar pa posledično pomeni zmanjšanje trdnosti betona ter ogrožanje njegove trajnosti.

V razpredelnici so podane priporočljive vrednosti za minimalni čas negovanja svežega betona in portland cementa:

temperatura [°C]	relativna vlažnost [%]			
	0 - 25	25 - 50	50 - 75	75 - 100
40-45	6	5	4	3
35-40	7	6	5	4
30-35	6	5	4	3
25-30	5	4	3	
20-25	4	3		
15-20	3			
10-15	3		brez posebnega negovanja	
5-10	3	3		

(vir: Mihailo Muravljov: "Osnovi teorije i tehnologije betona")

Če je povprečna temperatura okolice nad 5°C, potem se v praksi negovanje betona izvaja predvsem v smislu zagotavljanja zadostne vlažnosti betona. To pomeni, da morajo biti kapilare stalno zasičene.

2. BETONIRANJE PRI NIZKIH TEMPERATURAH (< 5°C):

Priporočila:

- potrebno je uporabljati cemente z večjo/manjšo hidratacijsko toploto, to pomeni cemente višjih/nizjih trdnostnih razredov ter cemente z višjo/nizjo vsebnostjo žlindre
- potrebno se je izogibati cementov z dodatkom pucolana
- smiselno je uporabljati večjo/manjšo količino cementa

- uporaba višjih/nizjih vodocementnih faktorjev, pri tem pa je potrebno manjšo količino vode kompenzirati z uporabo dodatkov –
- uporabljati dodatke za pospešitev/zaviranje vezanja in utrjevanja betona (), tako da beton v čim krajšem/daljšem času doseže predpisano trdnost
- uporabljati dodatke, ki so specifični za zimsko betoniranje (), vendar ne pri objektih, ki bodo v času uporabe izpostavljeni višjim temperaturam ($> 60^{\circ}\text{C}$) oziroma se nahajajo v agresivnem okolju
- potrebno je zagotoviti ustrezno začetno temperaturo svežega betona
- minimalna priporočljiva temperatura pri betoniranju in negovanju [$^{\circ}\text{C}$]:

temperatura zraka [$^{\circ}\text{C}$]	minimalna dimenzija prečnega prereza			
	< 30 cm	30 - 90 cm	90 - 180 cm	> 180 cm
5°C	13	10	7	5
5 do -1°C	16	13	10	7
-1 do -18°C	18	16	13	10
< -18°C	21	18	16	13

(vir: Velimir Ukrainczyk: “Beton: struktura, svojstva, tehnologija”)

- da zagotovimo ustrezno temperaturo svežega betona, je potrebno segrevati posamezne komponente betona. Za povečanje temperature betona za 1°C je na podlagi eksperimentalnih analiz potrebno povečati temperaturo:
 - agregata za cca. $^{\circ}\text{C}$ ali
 - cementa za cca. $^{\circ}\text{C}$ ali
 - vode za cca. $^{\circ}\text{C}$.

Največji učinek dosežemo s segrevanjem , medtem ko je segrevanje iz praktičnih razlogov ni smiselno.

Med segrevanjem posameznih komponent betona moramo poznati najvišje dovoljene vrednosti:

- voda:
- agregat:
- cement:

Temperatura vgrajenega betona naj ne preseže 65°C !

2.1 OSNOVNI PRINCIPI TEHNOLOGIJE ZIMSKEGA BETONIRANJA:

V kolikor temperatura zraka ni nižja od -1°C , se lahko v večini primerov doseže ustrezno začetno temperaturo svežega betona le s segrevanjem (40 do 70°C).

Če je temperatura okolice nižja, je potrebno segrevati tudi . Takšno segrevanje se izvaja na različne načine, pri čemer se največ uporabljajo sistemi, kjer segrevanje izvajamo z vodno paro (neugodno:). Uporaba zmrznjenega agregata ni dovoljena.

Takoj po vgraditvi betona je potrebno:

- prekriti odprte površine z ustreznimi izolativnimi materiali,
- uporabiti opaže z dodatnim slojem izolacije,

- zabetonirane elemente in konstrukcije shraniti v zaprte prostore, ki jih lahko ogrevamo (nadsrešnice, šotori, itd.),
- neposredno segrevati elemente in konstrukcije (z vodno paro, odprtim ognjem, elektriko – električni grelec).

Beton mora imeti pred prvim zmrzovanjem trdnost, ki je enaka vsaj $\frac{1}{2}$ projektirane trdnosti betona!

Preprečiti moramo hitro ohlajanje betona v prvih 24 urah po zaključku betoniranja. Dovoljen padec temperature je:

minimalna dimenzija prereza [cm]	ΔT [°C]
zelo tanki (< 30)	28
tanki (30 – 90)	22
normalni (90-180)	17
masivni (> 180)	11

(vir: Mihailo Muravljov: "Osnovi teorije i tehnologije betona")

2.2 TERMOS METODA:

Betonska mešanica s temperaturo med 25 in 45°C se vgradi v toplotno izoliran opaž. Skupna količina sproščene toplote v betonu mora biti enaka izgubam toplote, ki jih konstrukcija utрпи pri svojem ohlajanju do 0°C. Časovni interval ohlajanja označimo z t_h . Med procesom ohlajanja mora beton doseči vnaprej zahtevano trdnost!

- Definirajmo stopnjo masivnosti M_p [m^{-1}]:

$$M_p = \frac{F}{V} \leq 6$$

F ... skupna površina konstrukcije v [m^2], preko katere se vrši hlajenje
 V ... volumen konstrukcije v [m^3]

Za stebre in grede: $M_p = \frac{O}{A}$

- Količina sproščene toplote:

- ohlajanje segretega betona do 0°C

$$Q_b = m_b c_b \Delta T = m_b c_b T_{bz}$$

m_b ... masa uporabljenega betona

c_b ... specifična toplota betona v [kJ/kgK]

T_{bz} ... začetna temperatura betona ob vgrajevanju

- toplota, ki se sprosti med procesom hidratacije cementa v času t_h

$$Q_c = m_c Q_{cht}$$

m_c ... masa uporabljenega cementa

Q_{cht} ... sproščena hidratacijska toplota uporabljenega cementa v [kJ/kg]

Priporočila za vrednosti Q_{cht} :

vrsta cementa	starost betona			
	1 dan	3 dni	7 dni	28 dni
PC 25, PC 35 S	60 - 170	125 - 250	150 - 300	210 - 380
PC 35 B, PC 45 S	125 - 210	210 - 340	275 - 380	300 - 420
PC 45 B, PC 55	210 - 275	300 - 360	340 - 380	380 - 420

(vir: Mihailo Muravljov: "Osnovi teorije i tehnologije betona")

Spodnja razpredelnica prikazuje vpliv temperature okolice na sproščeno hidratacijsko toploto cementa po 3 dneh:

tip cementa po ASTM	temp. okolice med procesom hidratacije [°C]			
	4°C	24°C	32°C	41°C
I	154	285	309	335
II	221	348	357	390
III	108	195	202	214

(vir: P.C.Hewlett: "Lea's Chemistry of cement and concrete")

- Izgubljena toplota preko sten opaža v času t_h :

$$Q_i = P_t t_h$$

P_t ... toplotni pretok skozi opaž v [W]

t_h ... čas ohlajanja betona do 0°C v [s]

$$P_t = k S (T_b - T_z)$$

T_b ... temperatura v betonu v [°C] ($\approx T_{bs}$... povprečna temperatura v betonu med ohlajanjem)

T_z ... temperatura okolice v [°C]

k ... toplotna prehodnost v [W/m²K]

$$k = \frac{1}{R_k}, \quad R_k = \frac{1}{\alpha_z} + \sum_{\text{plasti}} \frac{d_j}{\lambda_j}$$

R_k ... skupni toplotni upor konstrukcijskega sklopa toplotnemu toku v [m²K/W]

$\alpha_z = 23$... toplotna prestopnost v [W/m²K]

$\frac{d_j}{\lambda_j}$... toplotni upor j -te plasti v [m²K/W]

λ_j ... koeficient toplotne prevodnosti j -te plasti v [W/mK]

- Količina izgubljene toplote = količini sproščene toplote:

$$k S (T_{bs} - T_z) t_h \alpha = m_b c_b T_{bz} + m_c Q_{cht} \quad \alpha \dots \text{vpliv vetra na hitrost hlajenja betona}$$

Izraz delimo z volumnom V , predpostavimo $\alpha = 1$ in dobimo:

$$k M_p (T_{bs} - T_z) t_h = \gamma_b c_b T_{bz} + \gamma_c Q_{cht}$$

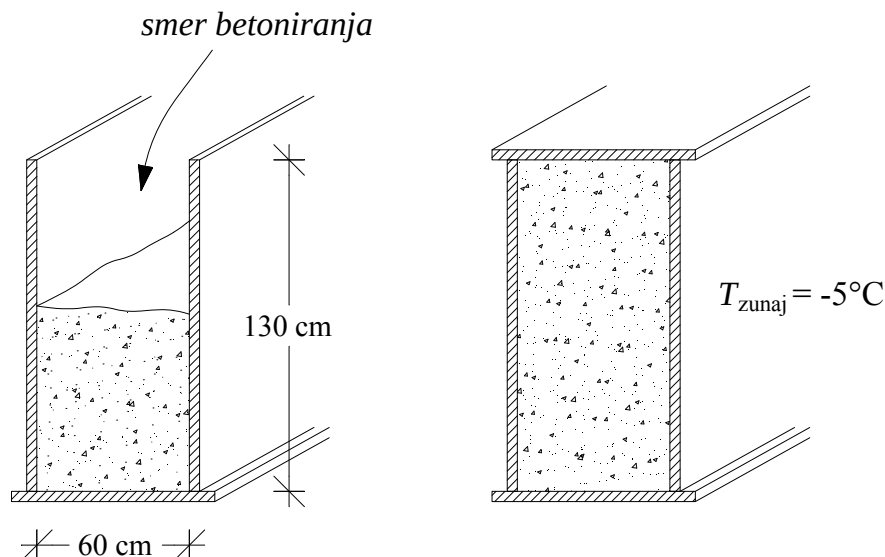
Iz enačbe izrazimo neznani čas t_h v [h]:

$$t_h = \frac{\gamma_b c_b T_{bz} + \gamma_c Q_{cht}}{3.6 k M_p (T_{bs} - T_z)} \quad \text{in predpostavimo } T_{bs} = \frac{T_{bz}}{2} \quad (\text{za } M_p \leq 8)$$

2.3 RAČUNSKI PRIMER:

Približno v kolikšnem času se bo beton ohladil na 0°C , če je začetna temperatura sveže betonske mešanice 30°C , temperatura okolice pa -5°C ?

Kolikšna mora biti pri tem začetna temperatura dodane vode, če je agregat segret na 20°C , cement pa ima skladiščno temperaturo 14°C .



Podatki:

- sestava betonske mešanice iz 1. naloge

material	masa za 1 m ³ [kg]	specifična toplota [kJ/kgK]	začetna temperatura [°C]
cement		0.84	
dodana zamesna voda		4.2	
agregat		0.84	
dodatki		/	/
skupno			

- lesen opaž: $d = 2.7 \text{ cm}$, $\lambda = 0.225 \text{ W/mK}$

specifična toplota betona: $m_b \cdot c_b = m_a \cdot c_a + m_c \cdot c_c + m_v \cdot c_v \rightarrow c_b = \frac{m_a + m_c}{m_b} \cdot c_c + \frac{m_v}{m_b} \cdot c_v$

Izpeljava kalorične enačbe:

$$1. \text{ korak } T_b \cdot m_b \cdot c_b = T_a \cdot m_a \cdot c_a + T_c \cdot m_c \cdot c_c + T_v \cdot m_v \cdot c_v$$

$$2. \text{ korak } T_b \cdot m_b \cdot \frac{c_b}{c_v} = T_a \cdot m_a \cdot 0.2 + T_c \cdot m_c \cdot 0.2 + T_v \cdot m_v$$

$$3. \text{ korak } T_b \cdot m_b \cdot \left[\frac{m_a + m_c}{m_b} \cdot 0.2 + \frac{m_v}{m_b} \right] = 0.2 \cdot (T_a \cdot m_a + T_c \cdot m_c) + T_v \cdot m_v$$

$$4. \text{ korak } T_b = \frac{0.2 \cdot (T_a \cdot m_a + T_c \cdot m_c) + T_v \cdot m_v}{0.2 \cdot (m_a + m_c) + m_v}$$

3. BETONIRANJE PRI POVIŠANIH TEMPERATURAH (> 30°C)

Pri procesu betoniranja pri povišanih temperaturah imamo poleg visoke temperature okolice opravka še z neugodnim vplivom nizke relativne vlažnosti zraka ter s povečano hitrostjo vetra.

Značilni pojavi, ki spremljajo betoniranje pri povišanih temperaturah, so:

- potreba po večjih količinah vode v betonu
- hitra sprememba konsistence betona in krajši čas začetka vezanja
- hitro izparevanje vode preko odprtih površin vgrajenega betona, kar povzroča velike plastične skrčke (nastanek razpok)
- zmanjšanje nominalne trdnosti betona

Ukrepi za zmanjšanje temperature svežega betona so:

- beton mora imeti dovolj nizko začetno temperaturo (< 30°C)
- vodo za beton shranjujemo v cisternah, vkopanih v zemljo (20 do 22°C)
- silos za cement termično zaščitimo
- agregat zaščitimo pred neposrednimi sončnimi žarki (uporaba lahkih nadstrešnic)

Če zgoraj navedeni ukrepi ne zadostujejo, je potrebno:

- hladiti vodo v t.i. "coolerjih" (6°C)
- uporabiti drobljen led, ki ga damo v cisterno z vodo ali neposredno v mešalec betona

3.1 RAČUNSKI PRIMER:

Koliko ledu je potrebno dodati v betonsko mešanico, da bo temperatura le-te ob vgradnji 20°C? Agregat ima temperaturo 30°C, temperatura cementa je 40°C, voda pa je hlajena v t.i. "coolerjih" in ima temperaturo 6°C!

Podatki:

- sestava betonske mešanice iz 1. naloge

material	masa za 1 m ³ [kg]	specifična toplota [kJ/kgK] oz. specifična talilna toplota [kJ/kg]	začetna temperatura [°C]
cement		0.84	
dodana zamesna voda		4.2	
agregat		0.84	
dodatki		/	/
led		2.05 / 334	-10°C

- nosilec: $b/h/d = 60/130/1000$ cm

Izpeljava kalorične enačbe:

upoštevamo: ko se led stali, naj bo masa stopljenega ledu in vode ravno enaka masi dodane vode!

$$1. \text{ korak } T_b \cdot m_b \cdot c_b = T_a \cdot m_a \cdot c_a + T_c \cdot m_c \cdot c_c + T_v \cdot (m_v - m_L) \cdot c_v + T_L \cdot m_L \cdot c_L - L \cdot m_L$$

$$2. \text{ korak } T_b = \frac{0.2 \cdot (T_a \cdot m_a + T_c \cdot m_c) + T_v \cdot m_v - m_L \cdot (T_v - 0.49 \cdot T_L + 80)}{0.2 \cdot (m_a + m_c) + m_v}$$

$$\text{ozroma } m_L = \frac{0.2 \cdot (T_a \cdot m_a + T_c \cdot m_c) + T_v \cdot m_v - T_b \cdot [0.2 \cdot (m_a + m_c) + m_v]}{(T_v - 0.49 \cdot T_L + 80)}$$