

11. ORGANIZACIJA BETONSKIH RADOVA U ZIMSKIM USLOVIMA

11.1 UTICAJ NISKIH TEMPERATURA NA BETON

Beton kao smeša cementa, agregata i vode ima sastojke koji su osetljivi na niske temperature, a to su voda i cement, i one koji su neosetljivi (inertni), a to su frakcije agregata (pesak, šljunak i drobljene frakcije). Usled fizičkih svojstava vode da pri niskim temperaturama menja svoje agregatno stanje, te na taj način menja svoju zapreminu za oko 9% (koliko iznosi povećanje u odnosu led — voda), dolazi do razaranja svežeg betona ukoliko proces stvrdnjavanja betona nije završen pre izlaganja betona mrazu. Štetno dejstvo temperatura nižih od 0°C odražava se na sledeći način:

— na niskim temperaturama slobodna, nevezana voda pretvara se u led te na taj način prestaje mogućnost daljeg hemijskog vezivanja sa cementom u procesu hidratacije. Proces hidratacije i hidrolize prestaje da se dalje odvija, a time i stvrdnjavanje betonske mase koje se zasniva na hemizmu tog procesa. Nastupa tzv. anabioza, tj. mirovanje hemijskog procesa;

— zamrznuta voda u svežem betonu usled povećanja zapremine razara betonsku masu zbog stvaranja unutrašnjih napreznja na zatezanje. Razaranje se manifestuje ljuštenjem površine betona, dok jezgro konstrukcije najčešće ostaje neoštećeno (zbog izolacionog dejstva spoljnog sloja betona);

— sveža betonska masa može na niskim temperaturama da usled smrzavanja postigne i znatnije prividne čvrstoće. One mogu u zavisnosti od stepena hladnoće da dostignu čvrstoću na pritisak i do 250 kg/cm².

Ispitivanjima je praktično dokazano da beton koji je dostigao 50% od čvrstoće marke betona koja garantuje otpornost na mraz nije više osetljiv na oštećenje od mraza (ukoliko se radi o jednakokratnom smrzavanju). Za važnije konstrukcije je neophodno da beton postigne bar 70% čvrstoće marke betona da bi smeo biti izložen (višekratnom) dejstvu mraza. Prema Privremenim tehničkim propisima srednje dnevne temperature vazduha ispod +5°C značajne su za normalan tok vezivanja cementa. Kod temperatura spoljnog vazduha ispod +5°C moraju se poduzimati zaštitne mere.

Dejstvo uticaja niskih temperatura na tok vezivanja običnog portland-cementa (PC 250) daje se u tablici 11.1. Prema PTP skidanje oplata i podupirača treba da se odloži za toliko dana koliko je dnevna temperatura vazduha bila niža od +5°C. Zaštitne mere na gradilištima treba provoditi sve dotle dok se ne postigne 50%, odnosno 70% od predviđene (tražene) marke betona.

Tablica 11.1

Trajanje dana	Temperatura prilikom stvrdnjavanja 0°C						
	1	5	10	15	20	25	30
Dostignut % čvrstoće							
2	—	—	—	25	30	35	40
3	10	15	25	35	39	45	50
5	20	28	33	50	55	60	65
7	30	39	48	60	68	75	80
15	50	60	70	80	90	95	97
28	65	80	90	100	105	110	

Vidi DGA—759 (1965) [18].

11.2 OSOBINE TEHNOLOGIJE U ZIMSKIM USLOVIMA

11.2.1 Čuvanje materijala

Rad u zimskim uslovima zahteva poseban postupak prilikom manipulacije i uskladištenja materijala potrebnog za spravljanje betona. Za uskladištenje cementa moraju postojati takvi zakloni da se cement potpuno zaštiti od vlage i vetra. Najbolje rešenje je primena metalnih silosa sa pneumatskom manipulacijom. Da bi se sprečilo lepljenje cementa o zidove silosa i cevi kojima se on transportuje potrebno je da se vazduh oslobodi od vlage (tj. da se on dehidrira), a cevi za transport treba zagrevati da ne bi došlo do kondenzacije zaostale vlage u vazduhu i cementu.

Za zaštitu agregata treba primeniti nastrešnice da bi se obezbedila zaštita od padavina (snega). Treba nastojati da se deponovanje agregata vrši u slojevima veće debljine (oko 5 m), kako iz ekonomskih razloga — da bi nastrešnice bile što bolje iskorišćene, tako i iz praktičnih — da ne bi ceo sloj agregata promrzao. Prilikom transporta agregata motornim vozilima treba preduzeti mere da ne bi došlo do njegovog zamrzavanja u košu vozila. To se može sprečiti ili pokrivanjem ili zagrevanjem sanduka vozila izduvnim gasovima (kod sanduka sa dvostrukim dnom). Kod proizvodnje agregata zimi, bilo da se radi samo o prosejavanju ili drobljenju sa prosejavanjem, ne preporučuje se pranje tokom procesa prerade. Najbolje je ako se priprema agregata obavi još u jesenjem periodu. Ukoliko to nije moguće treba agregat pripremiti od čiste jedre stene. Ukoliko je ipak pranje neophodno, ono treba da se vrši neposredno pre upotrebe agregata za spravljanje betonske mase, i to u prostoru zaštićenom od hladnoće.

β — korekcionni koeficijent zavisan od jačine vetra i propustljivosti oplata čije su vrednosti date u tablici 11.6.

Vrednosti koeficijenta β Tablica 11.6

Vrsta, konstrukcija oplata	Jačina vetra	
	slab vetar $v < 4 \text{ m/s}$	jak vetar $v > 4 \text{ m/s}$
Troslojna oplata sa meduslojem od terisane hartije	5,5	6,3
Dvoslojna oplata sa terisanom hartijom	6,7	8,0
Dvoslojna oplata slabo zaptivena	8,4	9,7
Površina bez oplata, zaštićena izolacionim materijalom	11,0	12,6

Toplotna vrednost pojedinih izolacionih materijala za izradu oplata (λ) je ova:

drvo suvo	0,23
drvo vlažno	0,35
drvena strugotina suva	0,09
suva šljaka	0,16—0,29
pluta (kao obična sačma)	0,046
staklena vuna	0,034
stiropor	0,023

Kod metode termososa pretpostavlja se da su jednaki uslovi utopljanja svih delova konstrukcije. Međutim temperatura betona neće biti svugde podjednaka naročito ako je ona raščlanjena. Efekat kod primene biće tim veći čim je modul površine manji, čim je toplotna zaštita bolja a razlika u temperaturi betona i spoljnog vazduha manja. Iz tablice 11.1 možemo za zahtevane uslove za skidanje oplata da nađemo potreban broj dana ležanja betona u oplati. Na sledećem primeru daje se prikaz toka proračuna.

Primer

Treba izvršiti dimenzionisanje oplata za zimsko betoniranje kod primene termos metode za sledeće početne uslove: $t_{bp} = 20^\circ\text{C}$, količina cementa je 230 kp/m^3 , kalorička vrednost cementa je 204 kJ/kg , modul površine je 1,0, temperatura spoljnog vazduha je -15°C . Treba računati sa uticajem jakog vetra.

Prvo ćemo utvrditi vrednost t_{bs} :

$$\text{prema obrascu (7)} \quad t_{bs} = (20 + 5)/2 = 12,5^\circ\text{C}.$$

Iz tablice 11.1. za tu vrednost srednje temperature iznalazimo (interpolacijom) potrebno vreme za postizanje 70% od R_{28} , što daje 12 dana, tj. vrednost $Z = 12 \cdot 24 = 288 \text{ h}$. Sada su nam poznate sve vrednosti iz obrasca (6) i možemo izračunati vrednost (K):

$$K = \frac{2400 \times 1,05 \times 20 + 230 \times 204 \times 0,7^*}{1(12,5 + 15) \times 288} = 10,46$$

Ako izaberemo dvoslojnu slabo zaptivenu oplatu sa uticajem jakog vetra moramo da usvojimo vrednost koeficijenta (β) sa 9,7. Sada iz obrasca (10) možemo da izračunamo vrednosti (h_i), tj. da izvršimo dimenzionisanje oplata za usvojene materijale — drvo i drvenu strugotinu. Ako usvojimo dve daske debljine 5 cm i 2,5 cm moramo da utvrdimo debljinu sloja strugotine.

$$0,21 + 2 \cdot 0,05/0,25 + x/0,09 = 9,7/10,46 = 0,93$$

Odatle izlazi da debljina sloja strugotine treba da bude 0,030 m, usvojeno 5 cm. Međutim ovakva oplata bila bi neekonomična jer zaštitna oplata (koja drži sloj strugotine) može biti i od 1" (tj. samo 2,5 cm). Za ovaj slučaj imali bismo debljinu sloja strugotine stvarno 5 cm a daske 5 cm prema betonu i 2,5 cm prema spoljnoj strani.

11.4.2 Izbor cementa i toplotne izolacije kod primene metode termososa

Kako kod metode termososa uz početnu temperaturu betonske mase koristimo i termička svojstva cementa, neophodno je da se izboru cementa posveti posebna pažnja. Logika nameće da se koriste što aktivniji cementi, jer će tada beton ranije da ostvari zahtevane mehaničke karakteristike potrebne za skidanje oplata i podupirača. To znači da treba usvajati one cemente koji imaju visoku kaloričku moć, izuzimajući kod toga aluminatni cement. U tablici 11.7. daju se osnovne vrednosti za pojedine vrste cementa:

Vrednost E (kJ/kg) Tablica 11.7

Vrsta cementa	Marka	Vreme stvrdnjavanja betona dana		
		3	7	28
Aluminatni (boksitni)	500—600	378	400	420
Brzostvrdnjavajući PC	600	189	252	357
Portland-cement	500	168	210	315
Portland-cement	400	126	168	252
Portland-cement	300	105	126	189
Pucolanski-PC	300	84	105	168

Napomena: ove vrednosti važe za srednju temperaturu betona od 15°C . Za niže temperature, od 7 do 10°C , treba uzeti 60 do 70% od vrednosti iz tablice.

Kao što se vidi po podacima iz tablice, za izvođenje radova zimi ne bi trebalo primenjivati manje aktivne cemente od PC 400. Najbolje je primeniti tzv. specijalne cemente (kao PC 450). Kao sledeća mera može se ići i na povećanje dozaže cementa, iako je to dosta skupo. Kod proračuna po metodi termos moramo voditi računa i o faktoru vreme, jer se egzotermni proces odvija tokom vremena (zato je u datom primeru računato sa $0,70 \times E$), jer se E odnosi na 28 dana.

Dimenzionisanje oplata kod zimskih radova treba da se izvrši tako da se prvenstveno koriste jeftini lokalni materijali. Osnovni zahtevi koji se pri tome postavljaju jesu da oni treba da imaju malo upijanje vode, kao i da su otporni na

Primer

Treba utvrditi potrebnu količinu toplotne energije (kJ) za 1 m³ betona za sledeće početne uslove:

količina šljunka $0,55 \times 1,20 \times 1900 = 1255 \text{ kg}$
 količina peska $0,45 \times 1,20 \times 1650 = 890 \text{ kg}$ } 2145 kg
 količina cementa 300 kg
 količina vode za $v/c = 0,60$ 180 kg
 količina vode u agregatu:
 u šljunku (4%) $0,04 \times 1255 = 50 \text{ kg}$
 u pesku (8%) $0,08 \times 890 = 71 \text{ kg}$ } 121 ,,
 potrebna voda $180 - (50 + 71) = 59 \text{ ,,}$
 $t_{ap} = -15^\circ\text{C}$, $t_c = 0^\circ\text{C}$, $t_v = +1,0^\circ\text{C}$, $t_{vl} = -15^\circ\text{C}$.

Zahteva se da posle zagrevanja sastojaka temperatura betonske mase bude +15°C, s tim da se voda sme zagrevati do max +80°C. Traži se do koje temperature treba zagrejati agregat (šljunak i pesak), kao i količina toplotne energije. Primenićemo obrazac (2) i jedina nepoznata je t_a :

$$t_b [0,84(q_a + q_c) + q_v + q_{vl}] = s(q_a \cdot t_a + q_c \cdot t_c) + q_v \cdot t_v + q_{vl} \cdot t_{vl} \quad (^\circ\text{C})$$

Kada uvrstimo poznate vrednosti imamo:

$$15[0,84(2145 + 300) + 4,2 \cdot 180] = 0,84(t_a \cdot 2145 - 0 \cdot 300) - 4,2 \cdot 15 \cdot 121 + 4,2 \cdot 80 \cdot 59$$

Odatle izlazi da je: $t_a = 7130/429 = 16,6^\circ\text{C}$.

Potrebnu količinu toplotne energije dobijamo iz obrasca (3) i (4):

Za zagrevanje vode potrebno je:

$$Q' = 4,2 \cdot 59 (80 - 1) = 19,572 \text{ kJ/m}^3$$

Za zagrevanje agregata potrebno je:

$$Q'' = 2145 [0,84(16,6 + 15) + 0,056(-0,5 \cdot -15 + 336 + 16,6)] = 119,755 \text{ kJ/m}^3$$

Ukupna količina potrebne toplotne energije je:

$$Q' + Q'' = 19,572 + 119,755 = 139,327 \text{ kJ}$$

Na bazi tako proračunate vrednosti izvršili bismo izbor opreme za zagrevanje (tj. za proizvodnju bilo tople vode ili pare).

11.4 METODA TERMOSA

Metoda termososa je najekonomičnija metoda koja se primenjuje kod betoniranja u zimskim uslovima. Njena suština je u tome da se za proces stvrdnjavanja betona koristi toplotna energija koja se dobija oslobađanjem tokom procesa vezivanja i stvrdnjavanja cementa (procesom egzotermije). Pri tome se tehničkim merama obezbeđuje početna temperatura betonske mase (u momentu ugrađivanja u konstrukciju) i posebnim merama toplotne zaštite nastoji da se ona i očuva. Uslov koji se postavlja je da beton treba da postigne dovoljnu čvrstoću pre nego što njegova temperatura spadne na 0°C, tako da se mogu skidati podupirači i oplata. Ekonomičnost metode termososa ogleda se u tome što u normalnim uslovima ne zahteva posebne uređaje za zagrevanje sveže betonske mase, odnosno konstrukcije.

Osnovni uslov je da toplotna zaštita betona bude dovoljna i da je konstrukcija dovoljno masivna. Merilo masivnosti konstrukcija izražava se modulom površine prema obrascu:

$$M_p = F/V \quad (\text{m}^{-1}), \text{ gde je} \quad (5)$$

F — površina izložena hlađenju (m²),

V — zapremina konstrukcije (m³).

U zavisnosti od modula površine konstrukcije može da se izvrši sledeća podela:

- masivne konstrukcije — $M_p \leq 3$,
- srednje masivne konstrukcije — M_p od 3 do 8,
- rašćlanjene konstrukcije — M_p od 8 do 12.

Granica primene metode termososa leži u oblasti srednje masivnih konstrukcija. Ukoliko želimo da ovu metodu primenimo i kod raščlanjenih (vitkih) konstrukcija, moramo obezbediti dopunsko zagrevanje betona. Ovo može da se obavi parom, električnom energijom ili toplom vodom. Primena metode termososa zahteva proračun hlađenja betonske mase prema Skramtaevu, vidi [44']. Kao osnova treba da bude raspoloživo vreme za koje beton treba da dostigne određenu čvrstoću, obično oko 70% od R_{28} , tj. onu za koju će on biti otporan na mraz, odnosno kada će moći da se skinu oplata i podupirači, što je i krajnji cilj preduzimanja mera kod betoniranja u zimskim uslovima.

11.4.1 Proračun hlađenja betona

Suština proračuna je u tome da se utvrdi vreme za koje će temperatura betonske mase (konstrukcije) da padne na 0°C. To se vrši pomoću sledećeg obrasca:

$$Z = \frac{\gamma_b \cdot s_b \cdot t_{bp} + C \cdot E}{M_p (t_{bs} - t_{va}) \cdot K} \quad (\text{h}), \text{ gde je} \quad (6)$$

- γ_b — zapreminska težina betona $\frac{C}{m} \cdot \frac{W}{m^2} \cdot C$ (2400 kg/m³)
- s_b — specifična toplota betona $\frac{1,05 \text{ kJ/kg}^\circ\text{C}}{m^2}$
- C — dozaža cementa za 1 m³ betona (kg)
- E — kalorička moć cementa u vremenu od Z časova $= \frac{C^2 \cdot v}{m^3} \quad (\text{kJ/kg})$
- t_{bp} — početna temperatura betona (°C)
- t_{bs} — srednja temperatura betona, izračunava se pomoću sledećih obrazaca:

$$t_{bs} = (t_{bp} + 5)/2, \text{ za } M_p \leq 3 \quad (7)$$

$$t_{bs} = t_{bp}/2, \text{ za } M_p \text{ od } 3 \text{ do } 8 \quad (8)$$

$$t_{bs} = t_{bp}/(1,03 + 0,181 M_p + 0,006 t_{bp}) \quad (9)$$

t_{va} — temperatura spoljnog vazduha (ocena na bazi statističkih podataka) ,,

K — koeficijent predaje toplote putem oplata (W/m² °C) izračunava se pomoću obrasca:

$$K = \beta / (0,05 + \sum h_i / \lambda_i), \text{ gde su} \quad (10)$$

h_i — debljine pojedinih elemenata oplata (m)

λ_i — koeficijenti provodljivosti oplata (W/m °C)