



Građevinski fakultet Sveučilišta J. J. Strossmayera u Osijeku  
Stručni studij, akadem. godina 2012/2013.

# BETONIRANJE PRI VISOKIM I NISKIM TEMPERATURAMA



***Mjere pri betoniranju  
na temperaturama  
većim od 30°C i  
manjim od 5°C***



*Nastavni materijali za predmet “**Tehnologija i strojevi za građenje**”*

Viši predavač  
Mr.sc.**Držislav Vidaković**, d.i.g.

# Ekstremne temperature za betoniranje

- **Dobre temperature za betoniranje i očvršćavanje betona su između 10 i 25°C, a za proces hidratacije idealna je 13°C.** Jasno je da se betoniranja često moraju izvoditi i pri višim i nižim temperaturama, koje će obzirom na klimatske oscilacije vjerovatno biti sve ekstremnije.
- **Ektremnim vremenskim uvjetima za betoniranje smatraju se temeprature zraka veće od 30°C i manje od 5°C (iziskuju povećanu pažnju), a posebno je problematično betoniranje kod temperatura ispod 0°C.**
- **Američki institut za beton (ACI) definira hladno vrijeme** kao period u kojem **više od tri dana:**
  - prosječna dnevna temperatura zraka (gledano od ponoći do ponoći) je **manja od 40°F (– 5°C)**
  - temperatura zraka svakog dana **nije veća od 50 °F (10°C) duže od 12 sati.**
- Već i velike temperaturne razlike između dana i noći, snažne izmjene vlage u zraku, kiša, vjetar i snijeg koji se topi uvelike mogu negativno djelovati na beton.
- **Betonirani elementi s većim modulom površine (MP = omjer vanjskog oplošja i zapremnine, izražen u m<sup>-1</sup>), odnosno vitkiji elementi (razvedenog presjeka) više su izloženi djelovanju vanjskog (hladnog) zraka od masivnih, unutar kojih se i razvija veća temperatura uslijed hidratacije.**

# Problem betoniranja pri niskim temperaturama vanjskog zraka

- U slučaju kada se voda u betonu (dio vode) pretvori u led zbog njegovog većeg volumena (9%) nastaju unutarnja naprezanja koja razaraju strukturu betona (što je više vode u sastavu betona problemi su veći). Uslijed toga na površini se može uočiti ljuskanje betona, a u unutrašnjosti beton može ostati i očuvan zbog povećane temperature hidratacije. Beton kod kojeg je došlo do smrzavanja prije početka vezanja može još biti upotrebljiv (nakon odmrzavanja). **Opasno je kada smrzavanje nastupi u vrijeme vezanja cementa. Beton je osjetljiv sve dok ne postigne čvrstoću otpornu na mraz.** Obično je to tlačna čvrstoća od oko 5 N/mm<sup>2</sup>, a za važnije konstrukcije potrebno je da beton postigne 70% projektirane čvrstoće da bi smjele biti izložene višekratnom djelovanju mraza. Ovisno o vodocementnom faktoru pri temperaturi od 5°C beton postaje otporan na mraz za 35 -70 sati.
- **Što su temperature niže proces hidratacije cementa sve se više usporava** (do zaustavljanja na 0°C – mirovanje kemijskog procesa, tzv. anabioza).
- **Što je niža temperatura betona – sporije je njegovo očvršćavanje** (duže čekanje na skidanja oplata), a **sporije djeluju i dodatci betonu.**
- Kod nekih vrsta betona dolazi do izbijanja vode na površinu na kojoj je oplata, a taj efekt dodatno pojačava hladnoća oplata i niske temperature svježeg betona. Posljedica toga je da se na vanjskoj površini betona i ispod oplata kasnije naziru **tamne i neugledne mrlje.**
- Treba imati u vidu da betonska masa uslijed smrzavanja **može postići i znatnu prividnu čvrstoću.**

# Primjenjive mjere kod betoniranja pri niskim temperaturama

- Iako kod nas u zimskom periodu intenzitet radova opada (ili se čak potpuno obustavljaju – kolektivni godišnji odmor) u kontinentalnoj klimi nije uvijek moguće izbjeći betonske radove pri niskim temperaturama, mada je **poželjno vremenski isplanirati izvođenje radova tako da do toga ne dođe** (npr. kod zgrada bi bilo idealno da se do konstruktivno završe do zimskog perioda, a onda u zatvorenom da se odvijaju završni radovi). Također, proizvodnja i doprema betona treba biti usklađena s dinamikom ugradbe.
- Predviđene mjere koje će trebati poduzeti pri betonskim radovima specificiraju se prije izvedbe u **Projektu betona**. Taj elaborat **izrađuje izvođač radova** (mora ga prihvatiti nadzorni inženjer) i u njemu mora biti definirano sve što treba poduzeti za postizanje betona zahtjevanih svojstava i kvalitete. Uz ostalo (tehničke uvjete za svojstva betona, program kontrole kvalitete betona, kontrolu armature i završnu ocjenu kvalitete) obvezno sadrži **opis sastojaka** (uključuje recepturu za svaku klasu betona) i **načina proizvodnje i plan betoniranja** (opisuje sve bitne radnje pri transportu i ugradbi betona, njegu betona, postupke koji se poduzimaju u slučaju prekida betoniranja i u slučaju nezadoovljavajuće kvalitete).
- **Kako bi se osiguralo dovoljno brzo očvršćivanje i izbjeglo bilo kakva oštećenja betona uslijed djelovanja mraza, potrebno je ugrađivati beton odgovarajuće temperature i omogućiti mu kvalitetnu zaštitu od prijevremenog gubitka topline.**
- **Ovisno o vrsti građevine, vrsti betoniranog elementa, njegovim karakteristikama i karakteristikama betona, temperaturi vanjskog znaka** (predviđenoj veličini i periodu djelovanja – prema statistici hidrometeorološkog zavoda) **i raspoloživim resursima izvođača radova biraju se mjere koje će se poduzeti** (jedna ili više komplementarnih). **U pravilu se nastoji zadovoljiti osiguranje zahtjevane kvalitete betona** uz najmanje povećanje troškova pri izvođenju radova u određenim uvjetima.
- **U krajnjem slučaju može se primjeniti tehnologija montažne gradnje.**



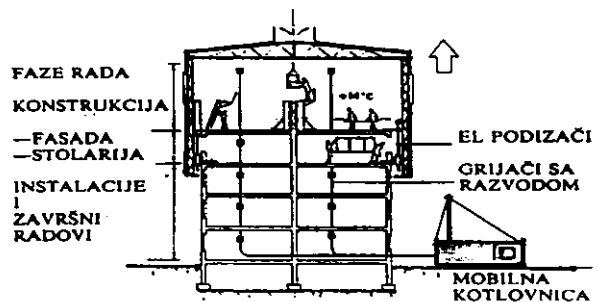
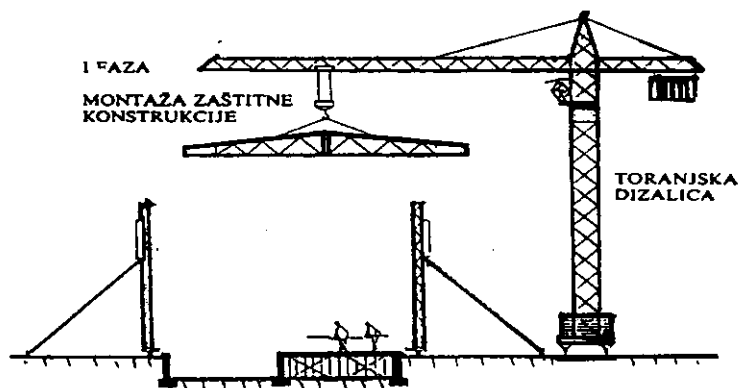
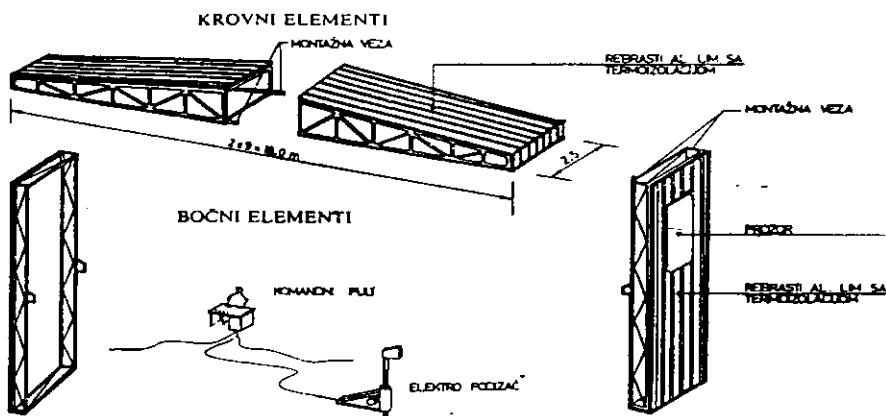
## Betonski radovi u zimskim uvjetima (zaštita i zagrijavanje betona)



# Primjenjive mjere kod betoniranja pri niskim temperaturama

- **SASTAV BETONSKE SMJESE:**
  - upotrebiti cemente koji razvijaju veću temperaturu tijekom hidratacije (aluminatni cementi, cementi veće kvalitete, cementni finijeg mliva), kao i stavljanje veće količine cementa
  - različiti kompatibilni dodaci betonu prikladni za niske temperature dodaju se u vodu ili u mješalicu: plastifikatori i superplastifikatori koji smanjuju vodocmentni faktor, odnosno potrebnu količinu vode, ubrzivači vezanja i stvrdnjavanja (za postizanje ranih čvrstoća), dodaci za zaštitu od smrzavanja (antifrizi -antimrazi) koji snižavaju točku smrzavanja vode – svi oni ne utječu bitno na mehanička svojstva, a ne mogu jedino s aluminatnim cemenatima
- **ZAGRIJAVANJE** – pri spravljanju (– proračunava se potrebna energija po  $1\text{m}^3$  betona)
  - vode koja se dodaje (najjeftiniji postupak kod kojeg beton poskupljuje samo 0,35 – 1,0%) – moguće zagrijavanje do granice isparavanja (obično do  $85^{\circ}\text{C}$ ) – mora se izmješati s agregatom (2-3 min dok se ne temperira) prije dodavanja cementa (inače burna reakcija)
  - kamenog agregata (zajedno s vlagom koja je vezana za njega) – zagrijavanje s cijevima kroz koje prolazi topli medij (vodena para) – potrebna odgovarajuća oprema u sklopu betonare (kotlovnica, cjevovod) i zaštita od vanjskog zraka (ovisno o načinu skladištenja)
- **GRIJANJE BETONA**
  - tijekom privremenog odlaganja (pretovarni silos za beton)
  - nakon ugradbe (u oplati) – preko armature (el. energijom) i grijalicama (oplata treba biti dobro provodljiva za toplinu)
- **ZAŠTITA ugrađenog betona** od djelovanja vanjskog zraka
  - prekrivanje betona folijama - TI materijalima (kada se javljaju noćni mrazevi, a dnevne temperature su u plusu dovoljno je prekrivanje PVC folijom uzdignutom oko 5 cm iznad površine betona da bi se za zaštitu zarobio sloj toplog zraka)
  - dodavanje TI sloja na oplatnu ploču (*Termos* metoda)

- **ZAŠTITA cijelog prostora** u kojem se odvijaju betonski radovi s privremenom konstrukcijom – montažnom ili sa šatorom, koji se obično uiznutra griju (pomiče se kako napreduju radovi u visinu ili dužinu)



**Zaštita od niskih temperatura zraka i hladnog vjetra betoniranih elemenata s montažnom konstrukcijom** koja se premješta kako napreduje betoniranje (lijevo) i pomoću izolirajuće termo folije zaštita cijele zgrade (desno)

**Minimalna preporuč.  
temperatura pri  
betoniranju i njegovanju  
obzirom na dimenzije  
poprečnog presjeka**  
(V. Ukrainczyk “Beton,  
svojstva, tehnologija“)

temperatura zraka [°C]	< 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

**Preporučljive  
temperature u ovisnosti  
od dimenzija  
betoniranog elementa**  
(ACI 306R “Cold  
Weather Concreting“)

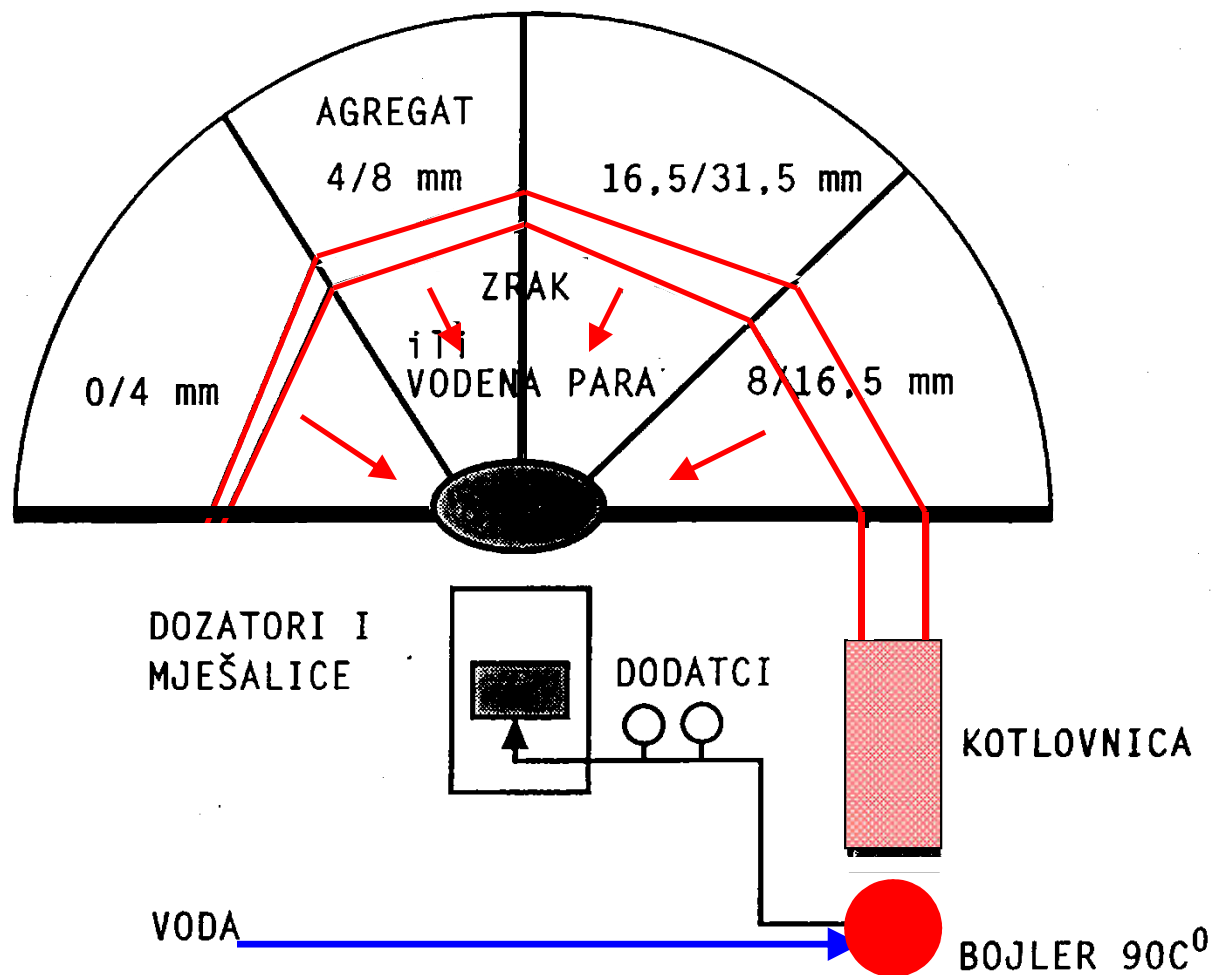
		Section size, minimum dimension, in. (mm)			
		<12 in. (300 mm)	12–36 in. (300–900 mm)	36–72 in. (900–1800 mm)	>72 in. (1800 mm)
Line	Air Temp.	Minimum concrete temperature as placed and maintained			
1	–	55 °F (13 °C)	50 °F (10 °C)	45 °F (7 °C)	40 °F (5 °C)
		Minimum concrete temperature as mixed for indicated air temperature*			
2	Above 30 °F (–1°C)	60 °F (16 °C)	55 °F (13 °C)	50 °F (10 °C)	45 °F (7 °C)
3	0 to 30 °F (–18 to –1°C)	65 °F (18 °C)	60 °F (16 °C)	55 °F (13 °C)	50 °F (10 °C)
4	Below 0 °F (–18 °C)	70 °F (21 °C)	65 °F (18 °C)	60 °F (16 °C)	55 °F (13 °C)
		Maximum allowable gradual temperature drop in first 24 hr after end of protection			
5	–	50 °F (28 °C)	40 °F (22 °C)	30 °F (17 °C)	20 °F (11 °C)

Laki betoni bolje zadržavaju toplinu od običnih, pa njihove temperature nakon spravljanja, odnosno prije ugradbe mogu biti niže.

**Prevelika početna  
temperatura betona (npr.  
iznad 20°C) nije poželjna, jer  
se tada događa da beton  
naglo gubi svoju temperaturu i  
zbog toga nastaju pukotine.**

\* For colder weather a greater margin in temperature is provided between concrete as mixed and required minimum temperature of fresh concrete in place.





**Betonara sa zagrijavanjem vode (bojler) i agregata (vodenom parom i vrelin zrakom – povećava cijenu betona cca. 10 - 15%)**  
 Prikazana betonara je sa zvjezdolikom deponijom agregata koju pri grijanju treba zatvoriti (prekriti folijom)

# Određivanje potrebne temperature zagrijavanja agregata i energije za grijanje

## Podatci za proračun:

- Tražena temperatura betona nakon spravljanja  $t_{sprav} = 15^{\circ}\text{C}$
- Temperatura agregata prije zagrijavanja jednaka je temperaturi vlage i temperaturi vanjskog zraka  $t_{ag} = t_{vl} = t_{vz} = -15^{\circ}\text{C}$   
(*Ne mora uvijek biti tako, ovisi kako je skladišten agregat!*)
- Temperatura cementa  $t_{cem} = 0^{\circ}\text{C}$  (*Ne smije se zagrijavati da se ne ošteti!*)
- Temperatura vode prije zagrijavanja  $t_{vod} = 1^{\circ}\text{C}$
- Temperatura vode nakon zagrijavanja  $t_{vod}^{gr} = 80^{\circ}\text{C}$
- Količina materijala po  $1 \text{ m}^3$  betona:
  - agregata ( $q_{ag}$ ) 2145 kg (vlažan 5,64%),
  - cementa ( $q_{cem}$ ) 300 kg (PC 40),
  - vode 180 kg ( $w = 0,6$ ) - kao vlaga 121 kg, a dodaje se 59 kg  
( $q_{vl} = 0,0564 \times 2145 = 121 \text{ l}$ , tj. kg,  $q_{vod} = 180 - 121 = 59 \text{ l}$ , tj. kg)

**Koeficijenti specifične topline za agregat i vodu su:**

$$s_{ag} = 0,84 \text{ KJ/kg}^\circ\text{C}$$

$$s_{vod} = 4,20 \text{ KJ/kg}^\circ\text{C}$$

**Izraz za proračun toplinskog bilansa (s jednom nepoznanicom) :**

$$t_{sprav} = \frac{s_{ag} \times (q_{ag} \times t_{ag}^{gr} + q_{cem} \times t_{cem}) + s_{vod} \times (q_{vod} \times t_{vod}^{gr} + q_{vl} \times t_{vl})}{s_a \times (q_{agr} + q_{cem}) + s_{vod} \times (q_{vod} + q_{vl})}$$

$$15^\circ\text{C} = \frac{0,84 \times (2145 \times t_{ag}^{gr} + 300 \times 0) + 4,20 \times (59 \times 80 - 121 \times 15)}{0,84 \times (2145 + 300) + 4,20 \times 180} = \frac{1801,80 \times t_{ag}^{gr} + 12201}{2809,80}$$

$$15 \times 2809,8 - 12201 = 1801,8 \times t_{ag}^{gr} \Rightarrow t_{ag}^{gr} = \frac{29946}{1801,8} = 16,62^\circ\text{C}$$

**Potrebna temperatura zagrijavanja agregata je 16,62°C**

# Potrebna energija za zagrijavanje vode i agregata po 1 m<sup>3</sup> spravljenog betona

- Potrebna energija za zagrijavanje vode koja se dodaje (s početne temperature na 80°C) :

$$Q_{energ}^{vod} = S_{vod} \times q_{vod} \times (t_{vod}^{gr} - t_{vod})$$

$$Q_{energ}^{vod} = 4,20 \times 59 \times (80 - 1) = 19576,2 \left[ \frac{KJ}{m_{bet}^3} \right]$$

- Potrebna energija za zagrijavanje agregata (uz koji je vezana vlaga) :

$$Q_{energ}^{ag+vl} = q_{ag} \times \left[ S_{ag} \times (t_{ag}^{gr} - t_{ag}) + i_a \times (-0,5 \times t_{ag} + 80 \times S_{vod} + t_{ag}^{gr}) \right]$$

$$Q_{energ}^{ag+vl} = 2145 \times [0,84 \times (16,62 + 15) + 0,056 \times (0,5 \times 15 + 80 \times 4,2 + 16,62)] = 100192,1 \left[ \frac{KJ}{m_{bet}^3} \right]$$

- **Ukupno potrebna energija** za zagrijavanje svih komponenti betona :

$$Q_{energ} = Q_{energ}^{vod} + Q_{energ}^{ag+vl} = 19576,2 + 100192,1 = 119768,3 \left[ \frac{KJ}{m_{bet}^3} \right]$$

# Temperatura i vrijeme očvršćavanja *betona*

- Temperatura spravljenog betona opada tijekom transporta i pretovarivanja do mjesta ugradbe (ovisno o sredstvu transporta), tijekom privremenog skladištenja (ako se tada dodatno ne grije) i pri usipavanju u oplatu, odnosno ugradbi u konstrukciju, tim više što je vanjski zrak hladniji (izrazi za izračun gubitka temperature uračunavaju razliku temperature betona i vanjskog zraka).
- **Početna temperatura betona** ( $t_{poč}$ ) dobiva se tako da se od temperature nakon spravljanja odbiju svi gubitci temperature ( $\Delta t$ ):  $t_{poč} = t_{sprav} - \Delta t$
- **Srednja temperatura betona pri očvršćavanju** ( $t_{sr}$ ) određuje se prema izrazu koji ovisi o modulu površine (MP) elementa u koji je beton ugrađen :
  - ako je  $MP \leq 3 \Rightarrow t_{sr} = (t_{poč} + 5) / 2$
  - ako je  $3 < MP < 8 \Rightarrow t_{sr} = t_{poč} / 2$
  - ako je  $MP \geq 8 \Rightarrow t_{sr} = t_{poč} / (1,03 + 0,181 \times MP + 0,006 t_{poč})$
- **Čvrstoća betona raste** s vremenom (danima) očvršćavanja, a postignuta čvrstoća biti će veća što je viša temperatura betona. Očitava se iz tablice prema vrsti korištenog cementa (postotak postignute čvrstoće interpolira se između naznačenih vrijednosti obzirom na izračunatu srednju temperaturu betona), a u pravilu se traži koji dan će premašiti 70% čvrstoću.

# Tablica za očitavanje postotka čvrstoće betona

Vrsta CEMENTA	Broj dana stvrdnjavanja	Srednja temperatura betona pri stvrdnjavanju					
		1°C	5°C	10°C	15°C	20°C	25°C
		Relativna čvrstoća betona u %					
Portland 30	3	12	17	24	33	40	44
	5	20	26	35	45	50	56
	7	27	35	42	52	59	66
	10	37	45	53	64	72	78
	15	47	57	68	77	85	92
	28	65	79	90	100	-	-
Portland 40	3	14	21	30	37	45	52
	5	21	30	38	47	56	63
	7	27	37	47	55	64	72
	10	36	47	57	67	75	83
	15	49	60	72	83	92	97
	28	70	80	91	100	-	-
Portland 50	3	17	22	29	34	47	52
	5	26	34	40	47	57	64
	7	35	43	52	61	68	75
	10	46	55	65	75	82	87
	15	57	70	80	89	99	-
	28	75	86	95	100	-	-

U tablici se vidi kako betonu raste čvrstoća s brojem dana stvrdnjavanja i da brže postiže čvrstoću što mu je pri tome srednja temperatura veća.

## Primjer

Za  $t_{sprav}$  iz prethodnog primjera, ako je  $\Delta t = 6,2^{\circ}\text{C}$  i  $MP = 2,55 \text{ m}^{-1}$ :  
 $t_{poč} = 15,0 - 6,2 = 8,8^{\circ}\text{C}$   
 $t_{sr} = (8,8 + 5) / 2 = 6,9^{\circ}\text{C}$

Pri toj srednjoj temperaturi, ako je beton rađen s PC40, očvrsnuti će za 15 dana 64,56%, a za 28 dana 84,18% (očitano interpolacijom iz tablice).

Od 15 do 28 dana prirast čvrstoće je 1,51%/dan, pa će 70% čvrstoću postići **19-tog dana** (16.dan 66,07%, 17.dan 67,58%, 18.dan 69,09%, 19. dan 70,6%)

# Termos metoda

- Metoda termososa **koristi toplinsku energiju koja se oslobađa u procesu vezanja i stvrdnjavanja cementa** (proces egzotermije).
- Za ovu metodu **potrebno je osigurati odgovarajuću početnu temperaturu betona** i onda se posebnim mjerama toplinske zaštite (**dodaje se TI na vanjsku stranu oplatnih ploča**) **nastoji očuvati unutarnja temperatura betona**. Ovdje postoji uvjet da beton treba postići dovoljnu čvrstoću (obično se uzima da je to 70%) prije nego mu temperatura padne na 0°C.
- U normalnim uvjetima, za masivne i srednje masivne konstrukcije ( $MP < 8$ ) pri ovoj metodi nije potrebno osigurati zagrijavanje svježih betonskih masa na gradilištu. Kod vitkih, odnosno raščlanjenih konstrukcija ( $MP \geq 8$ ), potrebno je i dodatno zagrijavanje.
- Da bi se odredila potrebna TI (vrsta i debljina) prvo treba napraviti **proračun hlađenja betonske mase** (prema Skramtaevu):

$$Z[\text{sati}] = \frac{\gamma_{bet} \times S_{bet} \times t_{poč} + q_{cem} \times E}{MP \times (t_{sr} - t_{vz}) \times K_U}$$

gdje je (od oznaka koje nisu prije spominjane):

$y_{bet}$  – zapremninska težina betona ( $q_{vod} + q_{vl} + q_{ag} + q_{cem}$ ) u kg

$s_{bet}$  – koeficijent specifične topline za beton (1,05 KJ/kg °C)

$E$  – kalorična moć (egzotermičnost) cementa u vrijeme od Z sati u kg/m<sup>3</sup>  
(može se očitati iz grafikona gdje su dane vrijednosti  $E$  u odnosu na broj dana očvršćavanja Z, a svaka vrsta cementa prikazana je različitom krivuljom)

$K_U$  – koeficijent predaje topline preko oplate izražen u KJ/m<sup>2</sup>h °C (ili u W/m<sup>2</sup>°C)

- *Proračun za ovu metodu pretpostavlja da su jednaki uvjeti utopljavanja svih dijelova izvođene betonske konstrukcije, mada temperatura betona zapravo neće svuda biti ista, pogotovo ako je konstrukcija raščlanjena.*

- Obzirom da se vrijeme  $Z$  potrebno za postizanje potrebne čvrstoće određenog betona uz njegovu srednju temperaturu može očitati iz prije priložene tablice, iz prethodnog izraza može se izračunati veličina koeficijenta predaje topline.
- Za koeficijent predaje topline vrijedi da je :

$$K_U = \frac{\beta}{0,05 + \sum \frac{d_i}{\lambda_i}}$$

gdje je:

$\beta$  – korekcijski koeficijent ovisan od jačine vjetra (slab vjetar s  $v < 4$  m/s ili jak vjetar s  $v > 4$  m/s) i vrsti oplata, odnosno njenoj propustljivosti (broj slojeva, vrsta materijala) kojise očitava iz tablice

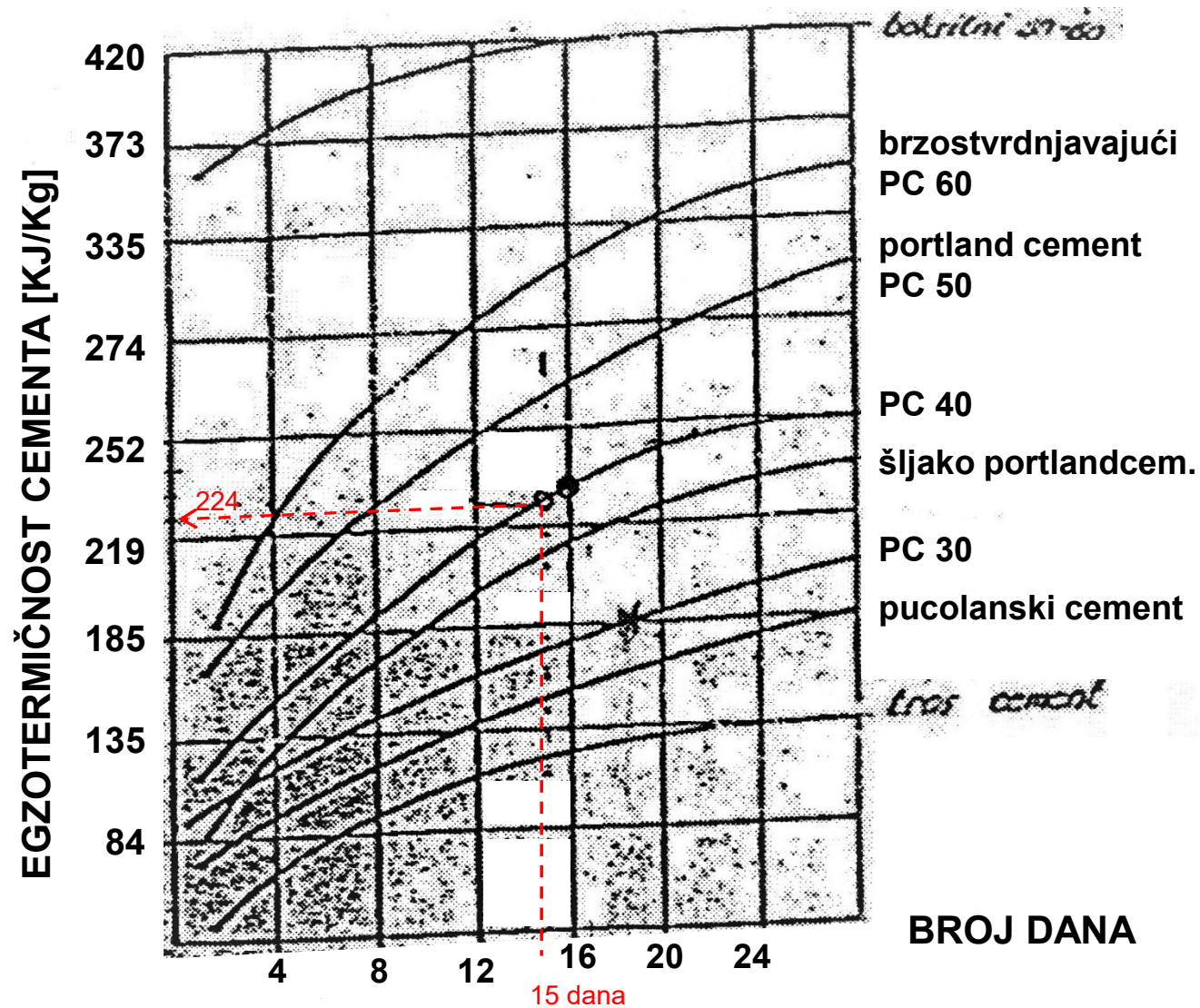
$\lambda_i$  – koeficijent provodljivosti topline za materijal “i” u oplati (npr. za suho drvo je 0,20, za drvenu strugotinu 0,08, za pluto 0,04, za staklenu vunu 0,03, za stiropor 0,02 W/m°C)

$d_i$  – debljina “i”-tog sloja oplata izražena u m

- Ako je  $K$  prije određeno (u proračunu hlađenja betona) uz poznavanje debljine slojeva oplata kojima se dodaje termizolacijski materijal, iz gornjeg izraza može se kao jedina nepoznanica debljina izolacije (uračunava se odgovarajuća vrijednost  $\lambda_i$  za planiranu vrstu TI drugih oplatnih slojeva i koeficijent  $\beta$  prema konstrukciji oplata i očekivanoj jačini vjetra). Za debljinu termozolacije na oplati, ako se radi o tvornički proizvođenim pločama (kao stiropor), bira se jednaka ili prva deblja od izračunate dimenzije.
- U slučaju prethodno pripremljene oplata s TI, ako u vrijeme betoniranja nastupe temperature zraka veće od očekivanih i uračunatih u ove proračuna, moguće je smanjiti potrebnu temperaturu spravljenog betona (proračuna se reducirana veličina), odnosno tako smanjiti energiju i troškove zagrijavanja.



Egzotermičnost cementa (**očitanje**) u odnosu na broj dana stvrdnjavanja i vrste cementa



# Primjer proračuna

Ako su svi podatci isti kao u već rađenom primjeru i ako je potrebno 19 dana da beton postigne 70%-tnu čvrstoću (kao što je proračunato iz tablice), može se napisati:

$$19 \times 24 \text{ [sati]} = \frac{2625 \times 1,05 \times 8,8 + 300 \times 246}{2,55 \times (6,9 + 15,0) \times Ku}$$

gdje je:

$y_{bet}$  – dobiveno zbrajanjem težine komponenti po 1 m<sup>3</sup> (2145+300+180)

E – očitno iz grafikona, prema krivulji za PC 40 i broju dana očvršćavanja betona do 70%

Iz gornjeg izaraza izračunava se veličina koeficijenta predaje topline preko oplata:

$$Ku = \frac{24255 + 73800}{456 \times 55,85} = 3,85 \left[ \frac{W}{m^2 \text{ } ^\circ C} \right]$$

Kada se radi o troslojnoj oplatnoj konstrukciji u kojoj je staklena vuna kao termoizolacija ( $\lambda = 0,03$ ) stavljena između drvene ploče ( $\lambda = 0,2$ ) debljine 15 mm i ako je korekcijski koeficijent  $\beta = 2,85$ , piše se:

$$3,85 = \frac{2,85}{0,05 + \frac{0,015}{0,2} + \frac{d_{TI}}{0,03} + \frac{0,015}{0,2}} = \frac{2,85}{0,20 + \frac{d_{TI}}{0,03}} \quad \text{Iz toga se izračunava da je}$$

**potreban minim. sloj staklene vune između dvije drvene ploče  $d_{TI} = 0,016$  m.**

Ako bi se uzela samo jedna drvena oplatna ploča i na njoj stiropor ( $\lambda = 0,02$ ), a  $\beta = 3,4$ , onda je:  $3,85 = \frac{3,4}{0,05 + \frac{0,015}{0,2} + \frac{d_{TI}}{0,02}} \Rightarrow$  **Potrebna debljina stiropora je**

$$d_{TI} = 0,015 \text{ m} = \mathbf{1,5 \text{ cm}}$$

# Mjere kod betoniranja pri visokim temperaturama zraka

- **Svježi beton potrebno je što je moguće prije obraditi i zaštititi od isušivanja**, jer da bi beton mogao ispravno očvrnuti potrebna mu je vlaga. Pravovremenom sekundarnom obradom betona treba osigurati potrebnu količinu vlage.
- **Njegu i zaštitu betona (tzv. sekundarne mjere) treba provoditi istovremeno.** (Beton je potrebno najmanje 3 dana štiti od preranog isušivanja, a kada je tražena izrazito visoka kvaliteta betona i do 7 dana.) **Ako izostanu potrebne mjere, mogu se zbog isušivanja, koje je posljedica snažnog djelovanja vjetrova i sunca, javiti tako velika oštećenja koja dovode u pitanje uporabnu valjanost i trajnost betona** (zbog skupljanja i pucanja betona smanjuje se vodonepropusnost i izgled betona je loš).
- Neki **standardi u zemljama članicama EU** zahtijevaju da temperatura tijekom ugradbe betona **ne smije prelaziti + 30° C bez da su poduzete posebne mjere.**
- **U slučaju betoniranja u danima s visokim temperaturama zraka može se:**
  - betonirati kasno poslijepodne ili predvečer (kada je niža temperatura zraka),
  - izabrati beton odgovarajuće konzistencije obzirom na vanjske vremenske prilike,
  - dodavati u spravljeni beton usporivače vezanja (aditive koji se nazivaju retarderi),
  - koristiti za beton cimente niske topline hidratacije,
  - vodu s kojom se spravlja beton prethodno ohladiti (može se stavljati i usitnjeni led u mješalicu),
  - korišteni kameni agregat zaštititi od velikog zagrijavanja na deponiji,
  - betoniranje obavljati u slojevima, tako da se sljedeći sloj betonira tek kad se prethodno ugrađeni beton dovoljno ohladi,
  - intenzivno polijevati (ili zamagljivati vod. parom) ugrađeni beton hladnom vodom,
  - pokriti beton mokrim jutanim vrećama ili drugim prekrivačima (najlon, geotekstil) koji zadržavaju vlagu i održavati ih vlažnima (kao apsorpcijski materijal može se koristiti i pijesak, a piljevina nije preporučljiva jer usporava očvršćavanje),

- **koristiti** tekuće ili kemijske **membrane** (sve popularnije) **za smanjivanje isparavanja** (bez boje, kod kojih je teško vidjeti dali je cijela površina prekrivena, ili s bojom, najčešće bijelom, koja blijedi) - na bazi vode, klorirane gume, smole i PVA. (Kada stvrdnu na licu betona stvaraju film, odnosno parnu branu.),

- **duže zadržavati beton u oplati.**

- Djelatnici na gradilištu trebaju biti informirani o opasnostima (na kvalitetetu betona) koje prijete od eventualnog dodavanja vode betonu na gradilištu.

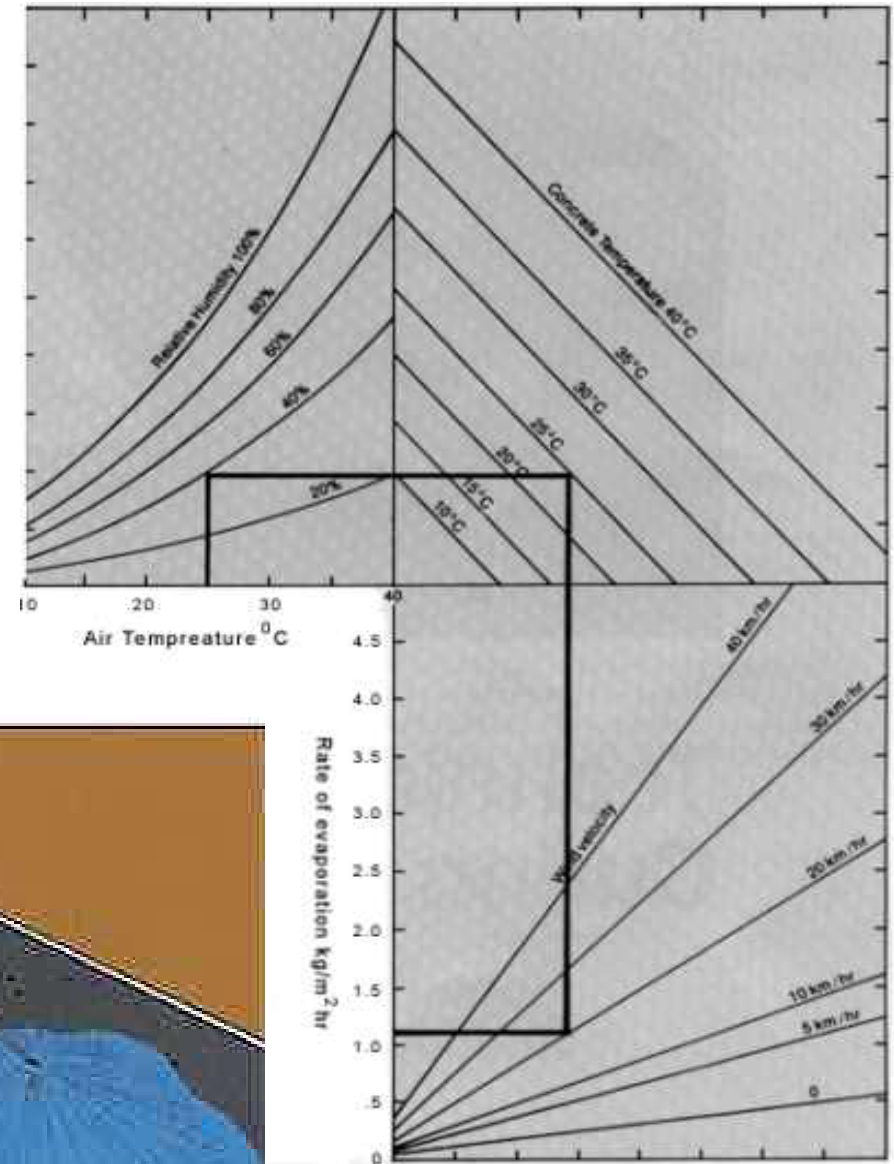
temperatura [°C]	relativna vlažnost [%]			
	0 - 25	25 - 50	50 - 75	75 - 100
40-45	6	5	4	3
35-40	7	6	5	4
30-35	6	5	4	3
25-30	5	4	3	
20-25	4	3		
15-20	3			
10-15	3	brez posebnega negovanja		
5-10	3	3		

**Preporučljivo minimalno trajanje negovanja svježih betona** spravljenih s portland cementima - izraženo u satima (M. Muravljov "Osnovi teorije i tehnologije betona")

**Grafikon koji prikazuje utjecaj (odnos) temperature zraka, vlažnosti, temperature betona i brzine vjetra na brzinu isparavanja vode iz svježe postavljene i nezaštićene betona na gradilištu.**

Iz ovog nomograma može se očitati veličina isparavanja, ako su poznate ostale varijable.

Problem s pucanjem postoji kada isparavanje prelazi  $0,5 \text{ kg/m}^2$ , a kada je veće od  $1,0 \text{ kg/m}^2$  gotovo je obvezno poduzeti mjere predostrožnosti kako bi se spriječilo plastično skupljanje.



**Postavljanje mehaničke barijere i nanošenje membrane na svježi beton**