

## **KOMPONENTE BETONA**

### **1. Agregat kao komponenta betona – prednosti i mane prirodnog (rečnog), odnosno veštačkog (drobljenog) agregata, prema njihovim osnovnim svojstvima**

Agregat učestvuje sa 70-80% u ukupnoj masi betona i od njegovih karakteristika zavise i svojstva betonskih smeša i svojstva očvrslog betona. Za spravljanje betona koriste se prirodni (pesak, šljunak) i drobljeni agregat. **Drobljeni** – on je po pravilu skuplji ali je u petrografskom pogledu uvek homogeniji od rečnog a to uslovljava mnogo manje koncentracije napona u očvrslog betonu pod opterećenjem, oštroičniji oblik zrna drobljenog agregata omogućava ostvarenje uklještenja susednih zrna pa to doprinosi povećanju mehaničkih karakteristika naročito povećanju čvrstoće na zatezanje. **Prirodni** – pošto je jeftiniji to mu najčešće daje prednost. Zbog zaobljenosti zrna mnogo povoljnije utiče na ugradljivost i obradljivost betonskih smeša. Danas se za spravljanje koristi **separisani – frakcionisani agregat** koji se isporučuje u vidu određenih frakcija: 0/4, 4/8, 8/16, 16/32, 32/63, 63/125.

### **2. Definisanje max zrna agregata D<sub>max</sub> i nominalno najkrupnijeg zrna agregata u mešavini D**

**Nominalno najkrupnije zрно agregata** je zрно koje predstavlja gornje granično zрно kojim je definisana najkrupnija frakcija agregata. Ako je najkrupnija frakcija agregata npr. 16/31,5 mm, nominalno najkrupnije zрно će biti zрно veličine D=31,5 mm. Obzirom na prisustvo podmerenih i nadmerenih zrna, u frakciji će biti i zrna većih od D. **Stvarno najkrupnije zрно D<sub>max</sub>** se može usvojiti prema veličini otvora na sledećem situ.

$$D_{max} = D + \Delta D = d_m + (d_m - d_{m-1}) \cdot \frac{x}{y}$$

### **3. Fizička svojstva agregata kao komponente betona i uslovi domaćih propisa, odnosno standarda u vezi sa tim svojstvima**

Za spravljanje betona može se upotrebiti svaki agregat koji neće štetno uticati na fizičko-mehanička svojstva betona, neće prouzrokovati njegovo razaranje, ni pojavu korozije armature i koji neće sprečavati hidrataciju cementa. **Štetne komponente su:** trosna zrna, glinoviti peščari, lapori, škrilci, gips, gline... **Likovna** sme da ima najviše 1%, odnosno 2% za beton koji će stalno biti u vodi. Ako je u betonu prisutan **amorfni silicijum**, on može da stupi u reakciju sa alkalijama u cementu (**alkalno – silikatna reakcija**), kada dobijamo produkte koji u prisustvu vlage povećavaju zapreminu, dolazi do velikih unutrašnjih napona u betonu i do pojave prslina i pukotina. **Amornog silicijuma** u krupnom agregatu ne sme da bude više od 5%, a u sitnom ne više od 0,5%. **Koroziju armature** izazivaju minerali koji sadrže halogene elemente (halit, silvin) i minerali koji sadrže sumpor (pirit, anhidrit). **Organska jedinjenja** koja mogu da spreče hidrataciju cementa, sahariti i masti, ne smeju biti prisutni u agregatu. Prema JUS ne sme da bude više od 20% plosnatih i duguljastih zrna (zrna čiji je odnos najmanje i najveće dim. veći od 3).

### **4. Značaj granulometrijskog sastava agregata i njegov neposredni i posredni uticaj na svojstva svežeg i očvrslog betona**

U svežem betonu zrna agregata su vezana u koherentnu celinu pomoću cem.paste. Ova pasta treba da obavije sva zrna i ispuní sve šupljine. Svojstva betona će biti bolja, što je količina cem.paste veća. Ovo važi do izvesne granice, pošto se cem.kamen odlikuje velikom poroznošću. Dakle, za spravljanje betona potrebno je primeniti izvesnu optimalnu količinu cementne paste, što istovremeno podrazumeva i primenu agregata određenog granulometrijskog sastava. **Ugradljivost i obradljivost**, kao i sva ostala svojstva očvrslog betona, znatno se poboljšavaju kombinovanjem nekoliko frakcija agregata. Zato je bitan granulometrijski sastav agregata. Preterana količina cem.paste će smanjiti čvrstoću betona, vodonepropustljivost, otpornost na dejstvo mraza, hemijsku otpornost, veću cenu. Ako bi bilo manje cem.paste od potrebne, dobila bi se zbog tzv. suvog trenja u masi teško ugradljiva i obradljiva betonska smeša.

Fulerova  
kriva:

$$Y = 100 \cdot \sqrt{\frac{d}{D}}$$

EMPA:

$$Y = 50 \cdot \left( \frac{d}{D} + \sqrt{\frac{d}{D}} \right)$$

Najpovoljniji agregat je onaj čija kriva upada u područje između ove dve krive.

## 5. Cement kao komponenta betona – vrste i klase cementa prema važećem domaćem standardu JUS B.C1.011/2001, odnosno prema starom standardu

Cement učestvuje sa 10-20% u ukupnoj betonskoj masi, ali ima veliki uticaj na svojstva betona. Izbor cementa treba vršiti na osnovu sledećih svojstava: čvrstoća i brzina rasta čvrstoće (klasa cementa), toplota hidratacije i hemijska otpornost. Cement je hidrauličko mineralno vezivo koje se dobija mlevenjem tzv. portland cementnog klinkera (veštački kameni materijal koji se stvara pečenjem krečnjaka i gline na  $t=1350-1450^{\circ}\text{C}$ ). Cementi se dele na vrste i klase. Vrste predstavljaju kategorije cementa s obzirom na sastav i tehnologiju proizvodnje, dok klase označavaju njihove mehaničke karakteristike (kod nas su to čvrstoće propisanih uzoraka dobijene ispitivanjima pri savijanju i na pritisak po isteku određenog vremena – 1, 3, 7, 28 dana). Imamo dve grupe cementa: 1) na bazi portland cementnog klinkera – klase su 25, 35s, 35b(35), 45s, 45b(45) i 55; 2) specijalne vrste: aluminatni i supersulfatni. Minimalne količine cementa za AB konstrukcije: 250 kg/m<sup>3</sup> za beton koji nije izložen atmosferijama; 300 kg/m<sup>3</sup> za beton koji je izložen atmosferijama; 350 kg/m<sup>3</sup> za beton izložen agresivnim uticajima. U praksi, količina cementa se najčešće kreće u granicama 300 – 400 kg/m<sup>3</sup>. Minimalna količina cementa u funkciji nominalno najkrupnijeg zrna agregata:

$$\min m_c = 550 / \sqrt{D} \text{ kg/m}^3, \text{ odnosno}$$

$$\min m_c = 700 / \sqrt{D} \text{ kg/m}^3, \text{ ako se radi o betonu izloženom hemijskoj agresiji}$$

## 6. Osnovna svojstva portland cementa i njihov uticaj na svojstva betona – izbor vrste cementa za beton u odnosu na vrstu konstrukcije i uslove sredine u kojoj se ona gradi

Klase: 25, 35s, 35b, 45s, 45b, 45, 55 – to su čvrstoće pri savijanju i na pritisak određene nakon 28 dana (za 25 - 7 dana, za 35 i 45 - 3 dana, 55 - 1 dan). \* Portland cement – oznaka PC k,  $\gamma_c = 3000 \text{ kg/m}^3$ ; \* Portland cement sa dodatkom zguze – portland cement + max 30% granulirane zguze visokih peći + gips, ima sporu hidrataciju,  $\gamma_c < 3000 \text{ kg/m}^3$ , oznake PC 15z k i PC 30z k,  $15\% < z \leq 30\%$ , k - klasa; \* Portland cement sa dodatkom pucolana – portland cement + gips + pucolan, sporije očvršćavanje, zbog sporog procesa hidratacije, čvrstoće su ipak veće od PC k, niska toplota hidratacije, oznake PC 15p k i PC 30p k; \* Portland cement sa mešanim dodatkom – PC + gips + mešavina zguze i pucolana, oznaka PC 15d (z ili p) k i PC 30d (z ili p) k; \* metalurški cement – zguze ima preko 30% (do 85%), oznaka M k, još sporija hidratacija, otporniji je od PC k na različita agresivna delovanja, postojan je u vodama koje sadrže hloride, sulfate, alkalije, velika postojanost u morskoj vodi; \* pucolanski cementi – preko 30% pucolana, oznaka P k, vrlo visoke čvrstoće, otporan na dejstvo mraza. Cemente sa dodatkom pucolana ili sa mešanim dodatkom koristiti samo za konstrukcije u vlažnoj sredini.

## 7. Sulfatno otporni cementi na bazi portland cementnog klinkera – koje vrste cementa treba primenjivati u uslovima istovremene sulfatne i hloridne agresije i odgovarajuća objašnjenja u vezi s tim

Sulfatno otporni metalurški cement. Običan portland cement nije otporan prema delovanju sulfata, jer sadrži značajan % minerala C<sub>3</sub>A (do 15%). Da bi cement bio sulfatno otporan, on treba da sadrži max 5% C<sub>3</sub>A. Ovo postizemo smanjivanjem Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, a povećanjem Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>. kao sulfatno otporni cementi kod nas se deklariraju: sulfatnootporni portland cement (SPC k) i sulfatnootporni metalurški cement (SM k). SPC k sme da ima max 3,5% C<sub>3</sub>A, kod SM k nije limitirano jer u njemu prevladuje zgura. SPC k može da ima i 5% C<sub>3</sub>A ako je:

$$2 \cdot C_3A + C_4AF \leq 20\% ;$$

$$C_3A = 2,65 \cdot Al_2O_3 - 1,69 \cdot Fe_2O_3 ; C_4AF = 3,04 \cdot Fe_2O_3$$

## **8. Osnovna jedinjenja i osnovni veštački minerali portland-cementnog klinkera – doprinos pojedinih minerala osnovnim svojstvima cementa**

Portland – cementni klinker je veštački kameni materijal koji se stvara pečenjem na  $t=1350-1450^{\circ}\text{C}$  krečnjaka i gline (krečnjak:gлина=3:1). Prisutno je i do 5% gipsa, koji služi za regulisanje vremena vezivanja cementa. Mineralni sastav:  $\text{C}_3\text{S}$  (alit) – 45-60% ;  $\text{C}_2\text{S}$  (belit) – 20-30% ;  $\text{C}_3\text{A}$  (celit) – 4-12% ;  $\text{C}_4\text{AF}$  (zelit) – 10-20%.  $\text{C}_3\text{A}$  je uzročnik sulfatne korozije cementa, pa je kod cementa otpornih na sulfat dozvoljeno max 5%  $\text{C}_3\text{A}$ .  $\text{C}_3\text{S}$  ima vrlo visoku toplotu hidratacije, pa se teži da kod tzv. cementa niske toplotne hidratacije  $\text{C}_3\text{S}$  bude što manje.

## **9. Aditivi kao komponente betona – vrste i uslovi primene**

Aditivi (dodaci) su neobavezna, četvrta komponenta betona, tj. supstance koje svojim fizičkim, hemijskim ili kombinovanim delovanjem utiču na određena svojstva svežeg ili očvrstlog betona. Postoje : 1) plastifikatori – poboljšavaju ugradljivost i obradljivost ; 2) aeranti – uvlačivači vazduha ; 3) zaptivači – suprotno od aeranata ; 4) akceleratori – ubrzivači vezivanja ili očvršćavanja ; 5) retarderi – usporivači vezivanja ; 6) antifrizi – za betoniranje na niskim temp.

## **10. Plastifikatori, odnosno superplastifikatori**

Plastifikatori su fino usitnjeni (dispervovani) materijali: bentonit, elektrofilterski pepeo, pucolani. Doprinosu poboljšanju ugradljivosti i obradljivosti. Pripadaju kategoriji tzv. površinski aktivnih supstanci, jer deluju u svežem betonu kao svojevrsna maziva. Obavljaju zmcu cementa, stvarajući oko njih tanke opne, usled čega se značajno smanjuje trenje u masi. Ovako je moguće smanjiti količinu vode. Doziranje 0,2-5% od  $m_c$ . Superplastifikatori u obliku površinski aktivnih supstanci danas imaju vrlo široku primenu, pri čemu se njihovim dodavanjem svežem betonu:

- Snižava viskozitet, tj. poboljšava ugradljivost i obradljivost, ne menjajući pritom količinu vode u betonu, ili
- Omogućava značajno smanjenje količine vode (HRWRA) bez promene viskoziteta (ugradljivosti i obradljivosti) betonske smeše.

## **11. Aeranti**

Pomoću njih se u strukturi betona formiraju mehurići vazduha. Ovakva struktura betona uslovljava povećanje otpornosti na dejstvo mraza, jer je smanjeno kapilarno upijanje vode, a imamo i prostor za širenje leda. Pripadaju kategoriji površinski aktivnih materija. To su smolasta organska jedinjenja.  $m_{ad} = 0,5-1\%$ .

## **12. Aditivi za betoniranje po hladnom vremenu – akceleratori i antifrizi**

Akceleratori – regulator procesa vezivanja – najčešće jedinjenje tipa hlorida (kalijum – hlorid  $\text{CaCl}_2$ ) – ubrzava proces vezivanja. U količini od 0,2% u odnosu na masu cementa ostvarivanje brzog prirasta čvrstoće betona u prvih 7 dana, dok sa 2% nakon 7 dana beton ima čvrstoću od 28 dana, ali pri većim količinama od 2%  $\text{CaCl}_2$  dolazi do pada čvrstoće i korozije armature. Postoje i tzv. bezhlorni ubrzivači koji ne deluju agresivno na armaturu. Antifrizi – sredstva protiv smrzavanja svežeg betona, deluju tako da snižavaju tačku smrzavanja vode. Njihovom upotrebom omogućava se betoniranje na temp. nižim od  $0^{\circ}\text{C}$ . Kao antifrizi najčešće se koriste kalijum-hlorid  $\text{CaCl}_2$ , natrijum-nitrat  $\text{NaNO}_3$ , natrijum-hlorid (kuhinjska so)  $\text{NaCl}$ . Primenjuje se u dozama i do 10% u odnosu na  $m_c$  (kod nearmiranih konstr.), ali kada se radi o armiranom i prednapregnutom betonu – zbog opasnosti od korozije njihova upotreba se mora ograničiti.

## **13. Aditivi za betoniranje po toplom vremenu**

Retarderi – oko zma cementa stvaraju opne koje sprečavaju brzo odvijanje hemijskih reakcija na relaciji cement-voda. Najpoznatiji retarder je sadra  $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ . Dodaju se u beton u vrlo malim količinama najčešće reda veličine 0,1% – postoje takvi dodaci koji do određenog procenta deluju kao usporivači a pri većim dozama kao ubrzivači. Omogućavaju ugradljivost i obradljivost betona ponekad i u toku od 24-48 h.

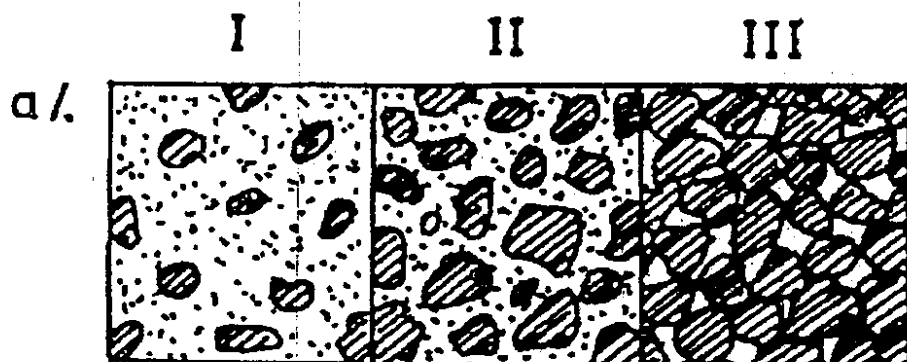
## **SVOJSTVA SVEŽEG BETONA**

### **14. Struktura svežeg betona**

Strukturu svežeg betona čine 2 komponente – cem.pasta i agregat. U sastav cem. paste uvek se uračunavaju i vrlo fine čestice agregata (ispod 0,09 mm) i mineralni dodaci u vidu praha (bentonit, elektrofilterski pepeo,

TIKSOTROPIJA je sposobnost svežeg betona a pod uticajem mehaničkih dejstava menja svoja reološka svojstva a se po prekidanju ovih dejstava ponovo vrati u predašnje stanje ogledu strukturne čvrstoće i viskoznosti

pucolani). Svojstvo cem.paste, a samim tim i svežeg betona, zavise od odnosa čvrste i tečne faze: sa povećanjem količine vode povećava se pokretljivost, a smanjuje struktura čvrstoća. U zavisnosti od odnosa cem.paste i agregata mogu se definisati 3 osnovne strukture svežeg betona. Tip strukture je od velikog značaja u odnosu na njegove tehnološke karakteristike i svojstva očvrstlog betona. • **Struktura I** - zrna agregata su međusobno veoma udaljena usled prisustva velike količine cem.paste, tako da uzajamno dejstvo zrna ne postoji. Ovakva mešavina ima dobru fluidnost i kompatibilnost, pa je dobra njena ugradljivost i obradljivost. • **Struktura II** - cem.paste je manje i ona samo ispunjava prostore između zrna agregata. Ovakve mešavine imaju lošiju ugradljivost i obradljivost od strukture I. Da bi se ovo popravilo potrebno je povećati količinu vode, odnosno vodocem. faktor. Kompaktiranje ovakvih mešavina vrši se zbijanjem. • **Struktura III** - cem. paste je veoma malo i ona obavlja samo zrna agregata. Fluidnost je zanemarljiva, a kompaktiranje se ne može efikasno ostvariti (ili teško). Struktura I - odlučujući značaj ima cement - viskozna tečnost ; Struktura II - značajni i cement i agregat - struktuirana tečnost ; Struktura III - najznačajniji agregat.



## Reološka svojstva svežeg betona – reološki model, viskozimetri

Svež beton se razmatra kao elasto-plastično viskozno telo, čije ponašanje zavisi od sastava, strukture, karakteristika komponenti, vremena i intenziteta spoljašnjih dejstava. Ovo ponašanje se može definisati opštim izrazom za naprezanje pri tečenju:

$$\tau = c + \eta \cdot \frac{dy}{dt} + \sigma \cdot \operatorname{tg} \varphi$$

$\tau$  - smičuće naprezanje;  $\sigma$  - normalno naprezanje  
 $c$  - kohezija;  $\eta$  - koef. viskoznosti;  $\varphi$  - ugao un. trenja  
 $dy/dt$  - brzina smicanja

Za praktične potrebe:

$$\tau = \tau_m + \eta_m \cdot \frac{dy}{dt} \Rightarrow$$

$\tau_m$  - smičuće naprezanje na granici tečenja;  
 $\eta_m$  - koef. (plastične) viskoznosti

*betonske faze se mogu tretirati kao jedinstveno fizičko telo*

⇒ Matematička formulacija reološkog ponašanja Bingamovog tela (modela)  
 Pri delovanju opterećenja telo na početku ima elastične deformacije, a kada se dostigne nivo opt. koji odgovara strukturalnoj čvrstoći, smeša počinje da teče kao viskozna tečnost. Viskozimetri su aparati za određivanje reoloških karakteristika svežeg betona. 1) viskozimetri koji se zasnivaju na principu merenja vremena isticanja betona kroz otvore određenih veličina – za ispitivanje mešavina sa malom strukturnom čvrstoćom (tečni beton); 2) viskozimetri koji rade na principu merenja dubine prodiranja u masu konusa – za tečne betone, sitnozrne mešavine i čiste cem.paste; 3) uređaji koji rade na principu merenja vremena utonjavanja u masu kugle određenog prečnika i mase; 4) uređaji kojima merimo veličinu sile potrebne za izvlačenje iz mase skupa pločica, štapova ili cilindara; 5) uređaji koji se zasnivaju na rotaciji koaksijalnih (koncentričnih) cilindara uronjenih u masu.

### Faktori koji utiču na reološka svojstva svežeg betona

*merenje brzine rotacije*

Značajan uticaj ima mineraloški sastav cementa i finoća mliva cementa: • povećan sadržaj aluminata ( $C_3A$  i  $C_4AF$ ) – jače izražena tiksotropija; • povećanjem finoće mliva – viskoznost i koef. tiksotropije prvo se smanjuju, pa za finoću mliva 4500-5000  $cm^2/g$  imamo min. a daljim povećanjem finoće mliva povećavaju se i viskoznost i koef. tiksotropije. Na reološka svojstva utiče i veličina zrna agregata – smanjivanjem veličine srednjeg prečnika zrna dolazi do povećanja viskoznosti. Ovo je povezano i sa cem.pastom, tako da se može definisati takav odnos cem.paste i agregata pri kome se dobija min  $\eta_m$ , a najveća pokretljivost betona. Pri povećanju vodocem. faktora

*koef. udruženog elastičnog viskoznog*  
 koef. elastičnog  
 reološki

sposobnost betona da odgovori zahtevima koje imaju u procesu tehnološkog procesa proizvodnje betona i izrade konkretnog elementa

sposobnost betona da odgovori zahtevima koje imaju u procesu tehnološkog procesa proizvodnje betona i izrade konkretnog elementa smanjuje se  $\eta_m$ , ali možemo izazvati raslojavanje (segregaciju) betona. Primenom plastifikatora možemo značajno smanjiti  $\eta_m$ .

## 17. Tehnološka svojstva svežeg betona

Reološka svojstva svežeg betona značajno utiču na njegova tehnološka svojstva i na svojstva očvrstlog betona. Svež beton treba da ispunjava uslov tehnološkičnosti: spravljanje, transport, ugrađivanje ... Tehnološka svojstva su: konzistencija (kruta, slabo plastična, plastična i tečna); homogenost; ugradljivost (kompatibilnost); povezanost (kohezivnost); stabilnost (segregacija i izdvajanje vode); transportabilnost; pumpabilnost; završna obradljivost površine.

## 20. Uticaj pojedinih faktora na tehnološkičnost svežeg betona

- **Konzistencija** - se definiše kao stepen krutosti, odnosno pokretljivosti svežeg betona. Odlučujući uticaj na konzistenciju ima  $w$ . Pri dozama cementa od 200-400 kg/m<sup>3</sup> konzistencija zavisi od količine vode, a ne od količine cem.paste. ovaj stav je poznat kao pravilo const. sadržaja vode. Važi i stav da potrebna količina vode za određenu konzistenciju zavisi i od karakteristika agregata (krupnoće zrna). Veća krupnoća zrna  $\Rightarrow$  manja ukupna površina zrna  $\Rightarrow$  manji uticaji zrna na cem.pastu  $\Rightarrow$  veća pokretljivost. Konzistencija zavisi i od temp. mešavine (veće sleganje pri manjim temp.). Na konzistenciju utiču i aditivi, npr. plastifikatori i superplastifikatori.
- **Homogenost** je karakteristika koja se obezbeđuje dovoljno dugim i intenzivnim mešanjem komponenti. Mešanje zavisi od konzistencije, gran. sastava i krupnoće zrna agregata. Kruća konzistencija uslovljava duže mešanje.
- **Ugradljivost** (kompatibilnost) se definiše preko količine korisnog rada potrebnog za potpuno zbijanje. Ugradljivost zavisi od reoloških karakteristika, ali i od konzistencije.
- **Povezanost** (kohezivnost) zavisi od krupnoće agregata, konzistencije, transporta.
- **Segregacija** - razdvajanje krupnih od sitnih čestica, pod uticajem mehaničkih dejstava, odnosno sile teže. Na ovo utiče nedovoljna kohezivnost, a posledica je nehomogenost.
- **Izdvajanje vode** - najčešće na površini betona, a mogu se stvarati i vođeni čepovi iznad krupnih zrna agregata. Uzrok - nedovoljno povezana mešavina.
- **Završna obradljivost** površine svežeg betona je f-ja gran. sastava agregata, oblika i površine zrna agregata, količine malterske komponente.

## 21. Određivanje vremena vezivanja (vremena obradljivosti) betonskih mešavina putem merenja otpora utiskivanja igle

Početak vezivanja određuje vreme u okviru koga treba da bude završeno ugrađivanje betona. Penetrometrom se mere otpori (u MPa) pri utiskivanju propisanih igala, pri čemu se merenja vrše na malterskoj komponenti betona dobijenoj izdvajanjem iz betonske mešavine. Ovaj malter se dobija prosejavanjem betona kroz sito otvora 5 mm. Postupak ispitivanja: utiskuju se igle različitih pop.preseka (prvo najveći 645 mm<sup>2</sup>, pa do najmanjeg 16 mm<sup>2</sup>) u malter dubine 25 mm. Rezultati se nanose na dijagram sa koga se očitava: vreme početka vezivanja - vreme proteklo od prvobitnog dodira vode i cementa, pa dok malter ne pokaže otpor od 3.5 MPa; vreme kraja vezivanja - vreme proteklo od prvobitnog dodira vode i cementa, pa dok malter ne pokaže otpor od 28 MPa

## 22. Pritisci svežeg betona na oplatu

Pritisci svežeg betona na oplatu zavise od: konzistencije, karakteristika oplate, visine elementa koji se betonira, brzine punjenja oplate svežim betonom. Ako imamo oplatu sa vert. i horiz. stranama, pritisci na platu su:  $p_v = 10 \cdot \gamma_{b,sv} \cdot \eta_{max} \cdot (h_1 - h_2)$  (kN/m<sup>2</sup>);  $p_h = p_v \cdot (\gamma_{b,sv} \cdot \eta_{max} \cdot h_1 \cdot v)$  (kN/m<sup>2</sup>);  $\gamma_{b,sv}$  (t/m<sup>3</sup>),  $v$  (m/h). A - gornja površina betona; B - dubina do koje se prapiraju uticaj sredstva za kompaktiranje; C - gornja površina vezanog betona ( $t_0 = 2-6h$ );  $p_0 = 10 \cdot \gamma_{b,sv} \cdot h_1$  (h<sub>1</sub> ≤ 1m);  $p_{op} = 10 \cdot \gamma_{b,sv} \cdot (h_1 - (h_1 - h_2) \cdot d_p)$ ;  $d_p$  - koef. pritiska betona na oplatu, zavisi od ugla un.trenja i od ugla između betona i oplate  $\beta$ .

## 23. Temp. svežeg betona - osnovna i izvedena j-na. Primer za zadatu mešavinu betona

Temp. svežeg betona se menja tokom vremena. Zavisi od: početne temp. mešavine, temp.sredine, toplote hidratacije cementa, razmene toplote sa okolinom ...

$$T_{bo} = \frac{S_s \cdot T_s \cdot m_s + S_c \cdot T_c \cdot m_c + S_v \cdot T_v \cdot m_v}{S_s \cdot m_s + S_c \cdot m_c + S_v \cdot m_v}$$

$S_s, S_v, S_c$  - specifični toplotni kapacitet  
 $T_s, T_c, T_v$  - početne temp.

POČETNA  
TEMPERATURA

$$S_a = S_c = 0,84 \text{ l/g}^\circ\text{C}$$

$$S_v = 4,2 \text{ l/g}^\circ\text{C}$$

$$S_a/S_c = 0,84 \text{ l/g}^\circ\text{C}, S_v = 4,2 \text{ l/g}^\circ\text{C} \Rightarrow$$

$$T_{bo} = \frac{0,2 \cdot (T_a \cdot m_a + T_c \cdot m_c) + T_v \cdot m_v}{0,2 \cdot (m_a + m_c) + m_v}$$

## FIZIČKO-MEHANIČKA SVOJSTVA OČVRSL OG BETONA

### 24. Struktura očvrsl og betona – makro i mikro struktura

Makrostruktura – može da se razmatra kao tekstura pojedinih kamenih materijala. U makrostrukтури jasno se izdvajaju 2 osnovna strukturna elementa: agregat i cem. kamen. Zato se može reći da je makrostruktura nehomogena i konglomeratična.

$$\bar{v}_a + \bar{v}_{cp} + v_p = 1$$

$$\bar{v}_{cp} = \bar{v}_c + \bar{v}_v$$

$v_a$  – apsolutna zapr. Agregata ;  $v_{cp}$  – aps. zapr. cem.paste ;  $v_p$  – zapremina vazduha (ako koristimo aerante)

$$\bar{v}_a = 1 - v_p - \frac{m_c}{\gamma_{sc}} \cdot \left( 1 + \frac{m_v}{m_c} \cdot \frac{\gamma_{sc}}{\gamma_{sv}} \right)$$

$$\bar{v}_{cp} = \bar{v}_{ck} = 1 - \bar{v}_p - \bar{v}_a$$

Razlikujemo 3 tipa makrostrukture. U I i III uticaj na svojstva betona imaju svojstva cementa, a u II uticaj imaju svojstva cementa i agregata.

Mikrostruktura betona podrazumeva definisanje unutrašnje strukture svakog od dva elementa koji čine makrostrukтуру – poroznost i građu kontaktnog sloja između ova dva elementa. Ukupna poroznost  $p(\%) = p_c + p_k + \Delta p$  ( $p_k$  – kapilarna ;  $p_g$  – gelska ;  $\Delta p = 5-6\%$  – poroznost kao posledica neefikasnog ugrađivanja, primena aeranata).

$$p_k = 0,1 \cdot m_c \cdot \left( \frac{m_v}{m_c} - 0,4 \cdot \alpha_h \right)$$

$$\frac{m_v}{m_c} \geq 0,4 \cdot \alpha_h$$

$$P_g = 0,016 \cdot \alpha_h \cdot m_c + 0,06 \cdot \alpha_h \cdot m_c = 0,022 \cdot \alpha_h \cdot m_c$$

### 25. Osnovni zakoni čvrstoće betona

• a – kruta konzistencija („suva“), nedovoljno kompaktiranje ; • b – raste  $m_v$ , beton veće plastičnosti, bolja ugradljivost, veća čvrstoća, postiže se maksimum – optimalna  $m_v$  ; • c – raste  $m_v$ , još plastičnija (tečnija) mešavina, opada čvrstoća, raste poroznost ; • d – vrlo tečne mešavine, raste čvrstoća zbog segregacije

Čvrstoća betonske kocke ( $a=20\text{cm}$ ) nakon 28 dana:

1) formula Beljajeva

$$f_{k,28} = \frac{f_{pc}}{k \cdot \omega^{1,5}}$$

$f_{pc}$  – klasa cementa ;  $k=4$  (rečni šljunak),  $k=3,5$  (drobljeni kamen)

2) formula Ferea

$$f_{k,28} = A \cdot f_{pc} \cdot \left( \frac{1}{\omega} - 0,5 \right)$$

$K=180 \text{ MPa}$  ( $f_{pc}=25$ ) ; 250 (35) ; 320 (45) ; 390 (55)

3) formula Bolomeja

$$f_{k,28} = A \cdot f_{pc} \cdot \left( \frac{1}{\omega} - 0,5 \right)$$

$A=0,55-0,65$

4) formula Skramtajev

$$f_{k,28} = A_1 \cdot f_{pc} \cdot \left( \frac{1}{\omega} - 0,5 \right)$$

$$f_{k,28} = A_2 \cdot f_{pc} \cdot \left( \frac{1}{\omega} + 0,5 \right)$$

za  $m \geq 0,4$

za  $m \leq 0,4$

$$A_1=0,55-0,065 ; A_2=0,37-0,43$$

## 26. Mehanizmi loma betona

Do loma betonskog elementa dolazi usled napona zatezanja. Ako je uzorku omogućeno slobodno deformisanje u svim pravcima, lomi se usled cepanja betona u poprečnom pravcu. Prvo imamo mikroprrsline  $\Rightarrow$  magistralne prrsline. Granica nastanka mikroprrsline u betonu pod opt. može da se odredi na osnovu merenja brzine prolaza ultrazvuka (dijagram). 1) čvrstoća agregata na zatezanje veća od čvrstoće na zatezanje cem.kamena, odnosno Kontakta agregat-cem.kamen (athezija) - linija loma zaobilazi zrna agregata; 2) čvrstoća agregata manja od čvrstoće cem. kamena, odnosno athezije, linija loma će ići kroz agregat i kroz cem.kamen; 3) čvrstoća agregata  $\approx$  čvrstoći cem.kamena  $\approx$  atheziji  $\Rightarrow$  mešoviti lom.

## 27. Čvrstoća betona pri pritisku – značaj za primenu betona, osnovni faktori uticaja

Čvrstoća betona pri pritisku je prosečan napon u uzorku izloženom aksijalnom pritisku pri sili loma, a za slučaj određene starosti betona. Ispitivanje se vrši na uzorcima oblika prizme, cilindara ili kocke. • zbog prisustva sile trenja, rezultati ispitivanja bitno zavise od podužnih i poprečnih dimenzija. Pokušaji smanjenja sile trenja podmazivanjem ne pomažu. Sa odnosima  $h/a \geq 3$  nema značajnijih promena čvrstoće. • vrednost čvrstoće zavisi i od apsolutnih mera uzorka (povećane mere manja čvrstoća). • brzina nanošenja opterećenja utiče na vrednost čvrstoće (veće vreme veća čvrstoća), najčešće koristimo  $t=2$  min. • utiče i postupak ugrađivanja betona u uzorke, kao i režim nege uzoraka. • od značaja je i odnos najmanje dimenzije uzorka i nominalno najkrupnijeg zrna u mešavini. • na čvrstoću utiče i agregat. Ako je čvrstoća agregata oko 20% veća od tražene čvrstoće, uticaj agregata ne postoji. • cement veće klase  $\Rightarrow$  veća čvrstoća.  $m_c$  veća  $\Rightarrow$   $w$  manje  $\Rightarrow$  veća čvrstoća. • čvrstoća raste sa vremenom, nakon 28 dana postiže se 70-80% čvrstoće.

## 28. Uticaj temp. na rast čvrstoće betona

Proces hidratacije cementana povišenim temp. se ubrzava, pa je čvrstoća betona pri pritisku i f-ja temp. betona. Ako je  $t < 5^\circ\text{C}$ , hidratacija se veoma usporava, a prestaje na  $-10^\circ\text{C}$ . Ako je temp.  $> 30^\circ\text{C}$  ona se značajno ubrzava. Rezultati ispitivanja pokazuju da se zagrevanjem betona najčešće ostvaruju visoke rane čvrstoće, ali ne važi za kasnije čvrstoće – one čak mogu biti i niže od čvrstoća koje bi se dobile u uslovima očvršćavanja betona na normalnim temp. ( $15-20^\circ\text{C}$ ). Temperatura i vlažnost se uvek moraju posmatrati zajedno. Npr. beton spravljen, ugrađen i negovan na  $t=35-40^\circ\text{C}$  pri relativnoj vlažnosti od 20-30% ima i do 40% nižu čvrstoću pri pritisku u odnosu na isti beton, ali na  $t=20-25^\circ\text{C}$  i vlažnosti 70-80%.

## 29. Marka betona i njeno dokazivanje – klase betona (c) prema JUS U.M1.021/97

Marka betona je normirana (nominalna) čvrstoća betona pri pritisku izražena u MPa koja se dobija ispitivanjem betonskih kocki  $a=20\text{ cm}$ , a koja se zasniva na karakterističnoj čvrstoći koja odražava razliku između čvrstoće nakon 28 dana. Uzorci se izrađuju u metalnim kalupima, vrši se zbijanje mešavine. Prvih  $20 \pm 4\text{ h}$  tela su u kalupima,  $t=20^\circ\text{C}$  i zaštićena su od isušivanja. Nakon toga se vade iz kalupa i drže u vodi ili prostoriji sa vlažnošću  $> 95\%$ , a na  $t=20^\circ\text{C}$ . Pri ispitivanju sila pritiska se postepeno povećava od 0 do sile loma, a brzina nanošenja opt. je  $0.2-0.8\text{ MPa/s}$ . Marke betona su: 10, 15, 20, 25, 30, 35, 40, 45, 50, 55 i 60. MB  $> 60 \rightarrow$  specijalni betoni; Armirani beton – MB  $> 15$ ; prednapregnuti – MB  $> 30$ .  $f_{tk} = f_{km} - 1.282 \cdot S_n \geq \text{MB}$ .

$$S_n = \sqrt{\frac{\sum (f_{km} - f_{ki})^2}{n-1}}$$

min  $n=30$ ;  $f_{km}$  – karakteristična čvrstoća betona pri pritisku;  $f_{ki}$  – srednja vrednost čvrstoće dobijena ispitivanjem uzoraka;  $S_n$  – procenjena standardna devijacija n rezultata ispitivanja;

$f_{ki}$  – pojedinačni rezultati ispitivanja

## 30. Koncept zrelosti betona – funkcija zrelosti

Čvrstoća betona je i f-ja vremena i f-ja temp. negovanja. Za istovremeno obuhvatanje ova dva parametra uveden je pojam zrelosti betona, koji se numerički iskazuje putem f-je zrelosti M. Ova f-ja se definiše u vidu proizvoda vreme  $\cdot$  temp. Ovo podrazumeva da je npr. čvrstoća betona koji je 3 dana negovan na  $20^\circ\text{C}$  jednaka čvrstoći istog



betona koji je 2 dana negovan na 30°C. Pošto se proces hidratacije cementa odvija na temp.  $\geq$  od neke min  $T_0 \Rightarrow$   
 $M = (T - T_0) \cdot t$ ;  $T = \text{const. temp. negovanja}$ ;  $t$  – dužina negovanja;  $T = T(t) \Rightarrow$

$$M = \sum (\bar{T}_j - T_0) \cdot \Delta t_j \quad \bar{T}_j = \frac{T_j + T_{j+1}}{2} \quad \text{nad. } T_j - \text{srednje temp.} \quad \Delta t_j = t_{j+1} - t_j$$

### 31. Čvrstoća betona pri zatezanju

### 35. Čvrstoća betona pri zatezanju – veličina, metode ispitivanja

Čvrstoća betona pri zatezanju bitno zavisi od stanja površine agregata. Kod drobljenog agregata athezija između zrna agregata i cem.kamena je veća od athezije kod rečnog agregata, pa samim tim i betoni sa drobljenim agregatom imaju veće čvrstoće pri zatezanju. Sa povećanjem  $m_a$ , čvrstoća na zatezanje povećava se u manjoj meri od čvrstoće pri pritisku. U prvih 28 dana postiže se oko 80% konačne čvrstoće pri zatezanju.

- \* Ispitivanje direktnim aksijalnim zatezanjem – na cilindričnim „oslabljenim“ uzorcima
- \* Ispitivanje savijanjem daje  $f_{tz}$  koje su znatno veće od  $f_t$
- \* Ispitivanje cepanjem putem linijskog pritiska – kocka ili cilindar

$$f_t < f_{tz} < f_{lp}$$

### 33.(40) Otpornost betona prema dejstvu mraza

Otpornost prema dejstvu mraza podrazumeva sposobnost betona da u stanju zasićenosti vodom podnese višekratno smrzavanje i odmrzavanje. Do destrukcije betona dovode unutrašnji naponi koji se javljaju zbog smrzavanja vode u porama i prslinama. Osnovna činjenica otpornosti je kompaktilnost betona. Ispitivanje: naizmenično smrzavanje-odmrzavanje uzoraka zasićenih vodom. Kao kriterijum otpornosti usvaja se broj ciklusa smrzavanje-odmrzavanje nakon koga dolazi do osetnog pada čvrstoće uzoraka. Čvrstoća ne sme da se smanji više od 25-30%, a ni gubitak mase ne sme biti veći od 5%. Marke betona: M-50, M-100, M-150, M-200. Za M-100, M-150, M-200: 15 uzoraka kocke ( $a=15$  ili 20 cm) ili cilindra ( $h, R=15$  cm). Od 15 uzoraka su 9 etalonskih, a 6 se ispituju. M-50: 9 uzoraka – 6 etalonskih, 3 se ispituju. Svi uzorci se 4 dana pre početka ispitivanja stave u vodu tako da budu potpuno potopljeni. Smrzavanje se vrši na -20°C (u roku od 1h), a odmrzavanje na 20°C. Ciklus traje 4+4h ili 6+6h. Vodi se računa i o ekvivalentnoj starosti etalonskih uzoraka  $t_e$ , koja je uvek manja od faktičke starosti uzorka.  $t_e = t_0 + c \cdot n$ ;  $t_0$  – starost na početku ispitivanja ( $t_0=28$  dana),  $n$  – broj ciklusa,  $c$  – parametar koji zavisi od  $n$ .

### 34. Otpornost prema dejstvu mraza i soli

Potrebno je ispitati beton na istovremeno dejstvo mraza i soli za odmrzavanje. Proces smrzavanje-odmrzavanje se podvrgava delovanju 3% rastvora NaCl, a nakon toga se u trajanju od 16-18h podvrgava temp. -20°C, a 6-8h sobnoj temp. Posle 25 ovakvih ciklusa meri se gubitak mase i dubina ljuštenja betona pod uticajem rastvora soli.

### 36. Čvrstoća betona pri čistom smicanju – veličina, način ispitivanja, uzorci

Pojava smicanja ~~se~~ sastoji u razdvajanju napregnutog elementa na dva dela po preseku u kome deluju naponi smicanja. Čvrstoća pri smicanju zavisi od otpornosti na smicanje krupnog agregata, čvrstoće spoja između agregata i cementa. Metoda opterećenja čvrstoće na smicanje:  $f_c = P/2 \cdot F_c$ ;  $f_c = (0.7-0.8) \cdot \sqrt{f_p} \cdot f_t$ ;  $f_c \approx 2f_t$ .

### 37. Čvrstoća betona pri složenom naponskom stanju

Sprovodi se u cilju formulisanja opšitijeg uslova loma. Prilikom ispitivanja uzorci su izloženi kombinaciji elementarnih tipova naprezanja i definiše se kritična kombinacija koja dovodi do loma. Do loma će doći kada se u koord. sistemu dobije tačka koja leži u samoj liniji loma ili iznad ove linije. Ako se dobije tačka ispod ove linije neće doći do destrukcije betona.

### 38. Čvrstoća betona pri dinamičkom opterećenju

Dinamička čvrstoća se dobija ispitivanjem betonskih uzoraka na tzv. visokociklični zamor. Uzorci (prizmatični ili cilindrični) se izlažu promenama napona pritiska (od  $\sigma_d$  do  $\sigma_g$ ). U uređaju pulzator se prvo izlažu  $\sigma_d$  pa tek onda otpočinju ciklusi promene opterećenja. Broj promena je relativno visok (od nekoliko stotina do nekoliko hiljada u minuti), a ispitivanje traje dok ne dođe do loma, registruje se broj ciklusa opterećenje – rasterećenje  $N$  pa se crtaju



tzv. Valerove krive ( $N-\sigma_{gr}$ ). Ukoliko je uzorak izdržao  $N=2 \cdot 10^6-10^7$  smatra se da se nikada neće polomiti  $\Rightarrow \sigma_{max} = \sigma_d$  pri kojoj je ostvaren ovaj uslov se uzima kao dinamička čvrstoća  $\sigma_d$ . Na bazi Valerovih krivih se može konstruisati Smitov dijagram koji daje zavisnost dinamičke čvrstoće u f-ji donjeg min napona. Najznačajniji faktor koji utiče na dinamičku čvrstoću je količina cementa – veća količina cementa-veća dinamička čvrstoća.

#### 41. Otpornost betona prema hemijskim uticajima

Otpornost betona na hemijske uticaje najviše zavisi od hem. otpornosti cementa i od kompaktnosti betona. Potrebno je dobiti cem.kamen sa min. poroznošću tj. primena dovoljno niskih vodocem. faktora, ali ne toliko niskih da se ugrozi ugradljivost betona i onemogući normalno odvijanje procesa hidratacije cementa. Nega betona treba da isključi mogućnost pojave prslina u betonu usled skupljanja i termičkih naprezanja. Dovoljno je dokazati hemijsku otpornost cementa koji se primenjuje.

#### 42. Radni ( $\sigma-\epsilon$ ) dijagram betona- veza sa radnim dijagramom za agregat i cem. kamen, modul elastičnosti i njegovo određivanje *u kluze*

OA – kriva deformacije pri opterećenju ; AD – kriva rasterećenja ;  $\epsilon_2$  – povratna def. ;  $\epsilon_3$  – plastična (zaostala) def. Tangentni modul elast. definiše se kao tangens ugla  $\alpha$  koji zaklapa tangenta na krivu u A sa apscisom. Sekantni modul elast. (modul deform.) definiše se kao tangens ugla  $\alpha_{nad}$  – ugla nagiba tetive koja povezuje početak sa tačkom A. Veza između napona i deform.  $\sigma = E_{sec} \cdot \epsilon$ . U području napona manjih od  $(0,3-0,5) \cdot f_p$  – radnih napona  $\sigma = E \cdot \epsilon = \tan \alpha \cdot \epsilon$ . Modul elastičnosti se određuje na prizmatičnim ili cilindričnim uzorcima sa odnosom podužnih i poprečnih dimenzija većim od 2. eliminišu se sve deformacije osim elastičnih nakon određenog ciklusa opterećenja-rasterećenja pa je  $\sigma-\epsilon$  dijagram praktično prava linija, čiji nagib definiše modul elast. Ovo se odnosi na područje radnih napona  $(0,3-0,5) \cdot f_p$ . Uzorka zadovoljava  $2 \leq h/a \leq 4$ . Dimenzija a mora da bude najmanje 4 puta veća od nominalno najkrupnijeg zrna agregata upotrebljenog u datom betonu.

#### 43. Poasonov koef. kod betona

Predstavlja odnos poprečnih i podužnih dilatacija uzorka. Ima praktično const. vrednost u području radnih napona betona polse kojih dolazi do zakrivljenosti dijagrama  $\sigma-\epsilon_{pop}$  pa  $\mu$  počinje da zavisi i od napona. Raste prvo zbog prslina u uzorku.  $\mu = \epsilon_{pop} / \epsilon_{pod}$ . U području radnih napona  $\mu = 0,15-0,25$ .  $\mu$  zavisi od temp., vlažnosti. Neposredno pred lom registruje se  $\mu = 0,4-0,5$ .  $\epsilon_v = \Delta V / V_0$ ;  $V_0$  – prvobitna zapremina uzorka,  $\Delta V$  – promena zapremine pod opterećenjem.

### REOLOŠKA SVOJSTVA OČVRSLOG BETONA

#### 44. Skupljanje betona – ukupne deformacije skupljanja, definicija, veličina, faktori uticaja i ispitivanje skupljanja betona

Pod skupljanjem betona podrazumevaju se vremenske deformacije koje se ispoljavaju u vidu smanjivanja dimenzija neopterećenih betonskih elemenata u toku vremena. Ukupna deformacija se sastoji: 1) skupljanje usled kontrakcije produkata hidratacije ; 2) skupljanje usled isparavanja vode tokom perioda vezivanja cementa ; 3) skupljanje nakon završetka procesa vezivanja cementa. • 2) Plastično skupljanje (usled isparavanja vode) – najveće u poređenju sa ostala dva, odvija se vrlo brzo u prvih nekoliko časova, usled njega može da dođe do pojave prslina i pukotina na površini; mogu se eliminisati intenzivnom i pravilnom negom betona (kvašenjem). • 3) hidrauličko skupljanje – sve dok se ne uspostavi ravnoteža između vlažnosti sredine i vlažnosti betona – tek posle dužeg vremena... Vremenski tok i konačne vrednosti skupljanja zavise od: 1) temp. i relativne vlažnosti sredine (veća T – veće skupljanje) ; 2) dimenzija betonskih elemenata (veće skupljanje kod manjih elemenata) ; 3) od vrste i količine cementa (više cementa, finiji mliv, veće skupljanje) ; 4) vodocemenetnog faktora (više vode- više kapilarnih pora- veće skupljanje) ; 5) gran. sastava agregata (pravilan gra.sastav – manje cementa- manje skupljanje) ; 6) način ugrađivanja (dobra kompaktnost- manje skupljanje) ; 7) nage betona (vlaženje betona u prvim danima- manje skupljanje). Ispitivanje se vrši na prizmatičnim ili cilindričnim uzorcima kod kojih je zadovoljen odnos  $2 \leq h/a \leq 4$ . uzorci se najmanje 3 kom. čuvaju u kalupima u prostoriji  $20^\circ C$  i vlažnosti 90% 24h. a onda se prebacuju u pijacu vodu  $20^\circ C$  i drže 48h. Vade se iz vode i u prostorije  $20^\circ C$  na 40% vlažnosti (voema suva sredina), 70% (srednje vlažna sredina), 90% (veoma vlažna sredina). Za merenje deformacija se primenjuju instrumenti tipa deformentra, ekstenzometra, komparatera itd. prvo merenje 72h nakon završetka izrade uzorka, a

posle 4 i 7 dana, nakon ovoga merenja se vrše svakih narednih 7 dana. Skupljanje se izražava u mm/mm u promilima.

## 45. Tečenje betona – definicija, veličina, način izražavanja, faktori uticaja i ispitivanje tečenja betona.

Tečenje betona je pojava postepenog porasta elastičnih deformacija betona koje nastaju nakon nanošenja opterećenja.

$\epsilon(t)$  – ukupna deformacija,  $\epsilon_s(t)$  – deformacija usled skupljanja,  $\epsilon_{el}(tk)$  – trenutna def. prouzrokovana const. opt.,

$\epsilon_{teč}(tk)$  – def. tečenja koja se ispoljava u vremenu  $t > tk$ . Najčešće se iskazuje putem koef. tečenja:

$$\rho(t, tk) = \epsilon_{teč}(t, tk) / \epsilon_{el}(tk) ; \quad \epsilon_{teč}(t, tk) = \epsilon(t) - \epsilon_s(t) - \epsilon_{el}(tk) \text{ [mm/m] ili \%}$$

faktori koji utiču: • temp. i relativna vlažnost sredine; • vrsta i količina cementa (veća količina cem. – veće tečenje); • količina vode tj. konzistencija betona (veći vodocem. faktor – veće tečenje, naročito  $\omega \geq 0,6$ ); • gran. sastav agregata; • dimenzije uzoraka - elemenata (manje dimenzije – veće tečenje); • nege betona. Ispitivanje se vrši na prizmatičnim ili cilindričnim uzorcima kod kojih je zadovoljen odnos  $2 \leq h/a \leq 4$ . Uzorci se čuvaju u kalupima u prostoriji  $20^\circ\text{C}$  i vlažnosti 90% 24h, onda se prebacuju u pijaću vodu  $20^\circ\text{C}$  i drže 48h. Vade se iz vode i ostavljaju u prostorije  $20^\circ\text{C}$  i 40% vlažnosti. Potrebno je 9 uzoraka – od kojih su 3 uzorka „a“ služe za ispitivanje skupljanja  $\epsilon_s(t)$ , 3 uzorka „b“ za određivanje čvrstoće pri pritisku  $f_p$ , a 3 uzorka „c“ za merenje ukupnih deformacija  $\epsilon(t)$  pod konstantnim naponom  $\sigma_k$ . Za betonske elemente izložene zatezanju – deformacija tečenja 1,5 puta veća, u slučaju smicanja 2-2,5 puta veća.

## 56. Metode merenja površinske tvrdoće

Koristi se za određivanje orijentacione vrednosti čvrstoće pri pritisku. Nedostatak je da se merenja vrše na površini elementa, gde beton u opštem slučaju nema iste karakteristike kao masa u unutrašnjosti. Pravi se ortogonalna mreža mernih mesta na udaljenju od 4-5 cm u oba pravca i merenje se sprovodi na 20-25 merih tačaka. Odbace se ekstremne vrednosti i računa prosečna vrednost. Imamo 2 metode: HPS i metoda Smitovog čekića. Metoda HPS: meri se prečnik otiska koji kuglica prečnika 10 mm načini na površini betona nakon udarca proizvedenog putem tačno definisanog udarnog rada, iz poznate funkcije → čvrstoća. Metoda Smitovog čekića: meri se elastični odskok udarne mase koja ulazi u sastav aparature, iz poznate funkcije → čvrstoća.

## 57. Metoda lokalne destrukcije

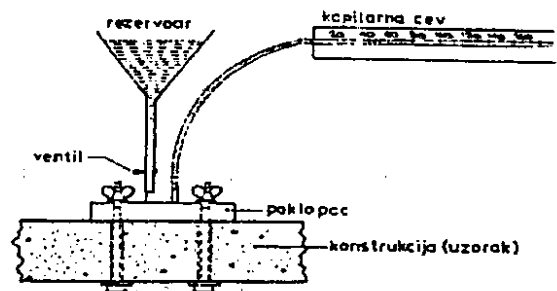
Ove metode se zasnivaju na merenju sile koja je potrebna da se sa površine betonskog elementa otkine komad određene veličine. Pullout postupak: u beton se ugrađuju ankeri (ili u toku betoniranja ili naknadno). Svaki anker na gornjoj strani ima navoje za povezivanje sa uređajem za apliciranje opterećenja. Meri se sila  $Z$  potrebna za čupanje ankera (sa okolnim betonom). Sila čupanja  $Z$  je funkcija čvrstoće  $f_k$  (kocka  $a=20$  cm). Postoje još i metode pomoću eksplozivnih punjenja i putem vatrenog oružja.

## 58. Magnetne metode

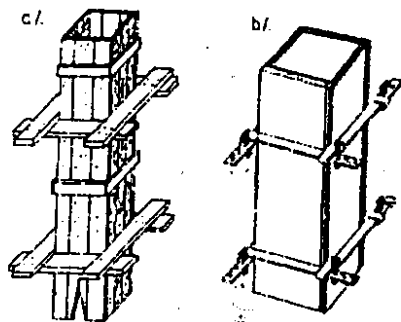
Dobijamo podatke o ugrađenom čeliku, na osnovu rasejane energije magnetnog polja: pravce pružanja šipki, rastojanje šipki  $a$ , prečnici  $\emptyset$ , debljine zaštitnih slojeva  $s$ , položaj i pravac armature definisan je položajem orijentacijom sonde koji odgovaraju max otklonu kazaljke memnog instrumenta. Ako se za 2 bliska položaja sonde ostvare max otkloni → razmak šipki. Debljina zaštitnog sloja (mora biti poznato  $\emptyset$ ) direktno se očitava na instrumentu. Ako se traži  $\emptyset$ : vrše se dva merenja sa pretpostavkom  $\emptyset \Rightarrow$  meri se  $a$  i  $s$ , pa korišćenjem posebnih dijagrama →  $\emptyset$ .

## 59. ISAT test

Merimo količinu vode koju je beton pod određenim uslovima apsorbovao i dobijamo zaključke o poroznosti betona. Nije za propustljivost betona.



Slika 7.18 Aparatura za ISAT-test.



Slika 7.19 a) i b) i c) i d) i e) i f) i g) i h) i i) i j) i k) i l) i m) i n) i o) i p) i q) i r) i s) i t) i u) i v) i w) i x) i y) i z)

## 60. Metode linijske mikroskopske analize

Za ispitivanje otpornosti na dejstvo mraza, dejstvo mraza i soli, efikasnost aeranata. Meri se sekanta (ili prečnik) svakog vazdušnog mehurića presečenog memim pravcem, sem mehurića >4mm i koji su nastali zbog lošeg kompaktiranja betona, prsline u betonu, pore u agregatu. Određujemo: 1) ukupnu količinu mehurića (u vol. %) i 2) tzv. faktor razmaka (mm). Faktor razmaka je najveće moguće rastojanje neke tačke u cem.kamenu do ivice najbližeg vazdušnog mehurića.

$\sum P$  – suma dužina sekanti mehurića  
 $\sum S$  – suma razmaka između mehurića

$$v_p = \frac{\sum P}{\sum P + \sum S} \cdot 100\%$$

$$\bar{v}_{ck} = \frac{m_c}{\gamma_{sc}} + \frac{m_v}{\gamma_{sv}} \quad \bar{c}k = \frac{\bar{v}_{ck}}{v_p} \cdot 100 \quad L = \frac{\sum P}{N}$$

L – prosečna dužina sekanti ; n – broj mehurića

$$S_p = \frac{4}{L} \left( \frac{\text{cm}}{\text{cm}^3} = \frac{1}{\text{cm}} \right)$$

$$ck \leq 4,33 \Rightarrow FR = ck \cdot 10 / S_p ; \quad ck > 4,33 \Rightarrow FR = \frac{30}{S_p} \cdot (ck - 4,33)^{1,5}$$

FR ≤ 0,2 mm – beton je otporan

## ODREĐIVANJE SASTAVA BETONA

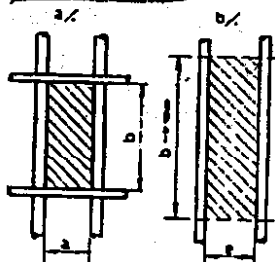
### 61. Projektovanje sastava betonski mešavine

Podrazumeva analitički postupak kojim se određuju posebni elementi za utvrđivanje sastava betona, i prikaz rezultata ispitivanja u laboratoriji i fabrici betona na osnovu kojih su potpuno određene količine komponenti.

**Agregat** - ravnomerno se koristi i prirodni i drobljeni kao i mešavina ova dva. Radi se sa separisanim agregatom. Granulometrijski sastav mora da obezbedi zahtevanu tehnološkičnost. najkrupnija frakcija mora da zadovolji  $D < a_{min}/4$ ,  $D \leq 1,25 a_{min}$ ;  $a_{min}$  – najmanja dimenzija preseka

Izbor najkrupnije frakcije agregata na bazi efekta rešetke i efekta zida.

1) efekat rešetke

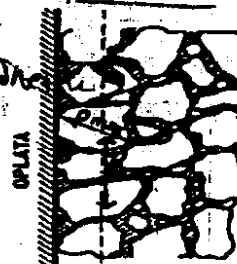


Slika 8.3 Efekat rešetke

$$c_R \leq 1,4 \text{ peunne}$$

$$G_{R \leq 12} \approx \text{gpad}$$

2) efekat zida



Slika 8.4 Efekat zida.

$$P = \frac{V}{S}$$

$$G_R = 98 - 49 (G_R = 99)$$

Cement: na bazi kriterijuma čvrstoće cementa; toplote hidratacije, hemijske otpornosti. Kod nas se najčešće koristi portland cement sa ili bez dodataka, za povećanje čvrstoće betona uzimaju se više klase. Za objekte velikih masa – cement niske toplote hidratacije. Prosečna količina cementa  $300 \text{ kg/m}^3$  ugrađenog betona.

$$\min m_c = 550 / \sqrt[3]{D} \quad \text{nije izložen agresivnom dejstvu vode}$$

$$\min m_c = 700 / \sqrt[3]{D} \quad \text{izložen hemijskoj agresiji vode}$$

Voda: dolazi u obzir ona kojoj je dokazana podobnost za spravljanje betona

Aditivi: upotrebom plastifikatora i superplastifikatora smanjuje se količina vode za 10-30%, kada se traže veće mehaničke otpornosti, beton povećane trajnosti; aeranti – kada je konstr. izložena dejstvu mraza ili istovremenom dejstvu mraza i soli; zaptivači – kada se zahteva viši nivo vodonepropustljivosti, niža poroznost; akceleratori – kada se betonira u zimskim uslovima i antihrizl, a retarderi kada se betonira na visokim temperaturama.

## 62. Sastav betona B I

Kada se usvoji agregat (vrsta, gran. sastav) i cement (vrsta) pristupa se usvajanju količine cementa  $m_c$ . Min. Količine cementa za određene MB su u tabeli. Količina vode se može odrediti na osnovu konzistencije. Potrebna količina agregata određuje se:

$$\frac{m_a}{\gamma_{sa}} + \frac{m_c}{\gamma_{sc}} + \frac{m_v}{\gamma_{sv}} + v_p = 1 \quad \gamma_{b,sv} = m_a + m_c + m_v$$

Ceo postupak projektovanja sastava betonske mešavine zasnovan je na pp. da se primenjuje potpuno suv agregat, a ako to nije slučaj voditi računa da je ukupna količina vode jednaka zbiru vode koju sadrži agregat i one koja se posebno dozira. Pretpostaviti da sve frakcije imaju istu specifičnu masu  $\gamma_{sa}$ , a ako to nije zadovoljeno  $\gamma_{sa} = \sum a_k \gamma_{sa,k}$ . Betoni kat. B I mogu se spravljati bez prethodnih ispitivanja stim što se pri njihovoj proizvodnji moraju primenjivati minimalne količine cementa i mogu biti marki MB 10,15,20,25 i mogu se ugrađivati samo na gradilištu na kome se spravljaju.

## 63. Sastav betona B II

Određuje se na osnovu prethodnih ispitivanja svežeg i očvrslog betona spravljenog od predviđenih materijala. U fazi prethodnih ispitivanja ispita se dovoljan broj mešavina različitih sastava i odabere se ona koja ispunjava sve uslove koje projekat zahteva  $f_{k,28} \geq MB_{pr} + t_1 \cdot S_n$ ;  $f_{k,28} \geq f_{k,min} + t_2 \cdot S_n$

$f_{k,28}$  – srednja vrednost čvrstoće pri pritisku ( $a=20\text{cm}$ );  $MB_{pr}$  – projektovana MB

$f_{k,min}$  – min. očekivana čvrstoća pri pritisku ( $f_{k,min} = MB_{pr} - 4\text{Mpa}$ );  $S_n$  – procenjena vrednost standardne devijacije;  $t_1=1,28$  – fraktil 10%;  $t_2=2,05$  (2,33) – dopušta se da 2% rezultata budu ispod  $f_{k,min}$ . Betoni B II su marki MB30 i više, kao i transport betoni svih marki, kao i betoni sa posebnim svojstvima. Spravljaju se na bazi prethodnih ispitivanja.

## SPRAVLJANJE BETONA

### 64. Spravljanje betona – osnovni principi

Spravljanje betonske mešavine se vrši isključivo mašinskim putem, doziranje i mešanje komponenti da se dobije homogena mešavina. To se radi ili u fabrici betona ili u gradilišnim punktovima. Komponente su smeštene u bunkere ili silose sa dozatorima i posle doziranja idu u jedan bunker i iz njega u mešalicu. Mešavina voda-aditiv ide direktno u mešalicu ili ako su aditivi u praškastom stanju idu u sabirni bunker sa ostalim komponentama. Ako se koristi vlažan agregat, ukupna  $m_v$  predstavlja zbir vode koju sadrži agregat i vode koja se posebno dozira.

$$m_{va} = \frac{1}{100} \sum m_{ak} \cdot H_k \quad \text{voda u agregatu; } H_k \text{ – vlažnost; } m_{ak} \text{ – masa u suvom stanju; } m_v, m_{va} \text{ – voda koju treba dozirati. Količina agregata koja se unosi u mešalicu (po frakcijama) } m_{az,vl} = m_{az}(1 + H_z/100)$$

### 65. Fabrika betona, osnovne tehnološke šeme proizvodnje betona

Fabrika betona je opremljena tako da ima kapacitet od 10-15  $\text{m}^3/\text{h}$  svežeg ugrađenog betona. Postoje dve osnovne tehnološke šeme: (1) vertikalna šema – sve komponente betona podižu se na određenu visinu u odnosu na mešalicu pa je tehnološki proces od gore na dole; (2) parterna šema – pojedine ili sve komponente su ~~transportovane~~ ispod mešalice, pa se puni podizanjem komponentata. Agregat se do bunkera transportuje putem

transportnih traka koje idu od deponije do bunkera. Agregat je u bunkerima izložen atmosferskim uticajima pa mu se menja vlažnost i na osnovu vlažnosti se vrše eventualne korekcije mešavine. Ne koristi se agregat sa samog poda 20-30 cm zbog zaprljanosti muljem. Cementi i aditivi se lageruju u silosima koji zadovoljavaju nedeljne potrebe fabrike. Cement se mora zaštititi od vlage. Najčešće se primenjuju automatski dozatori sa periodičnim ili neprekidnim (kontinualnim) radom.

## **67. Mešalice za beton, podela, tipovi, koef. izlaza bet. mešavine, teorijski kapacitet**

Traba da obezbedi homogenizaciju mase i omoguće dobijanje predviđene količine svežeg betona u jedinici vremena. Mogu biti sa periodičnim i neprekidnim radom. Periodično-punjenje, mešanje i pražnjenje dok u onim sa neprekidnim radom operacije teku istovremeno. U zavisnosti od ose bubnja: vert. Osa horizontalna, kosa osa ( $\alpha=30^\circ$  sa horizontalom). U odnosu na način mešanja – gravitacione, meš. sa prinudnim mešanjem (imaju vert. osu i sistem lopatica koje rotiraju u suprotnom smeru). Koef. izlaza betonske mešavine:  $k_i=1000/(V_{cm}+V_{ap})$ ;  $k=0.6-0.7$

Proizvodnost mešalice: mešalice malog kapaciteta ( $\leq 20m^3/h$ ); srednjeg ( $20-50m^3/h$ ); velikog ( $50-100$ ); vrlo velikog ( $\geq 100$ ). Proizvodnost definiše proizvođač a proveriti se kroz probnu proizvodnju.  $M_c/V_c + M_a/V_a = V_{mes}/k_i$ ;  $t_c = t_m + t_{ov}$ ;  $U_c = 60/t_c$  - broj ciklusa;  $p_1 = U_c \cdot V_{mes}/1000$  - proizvodnost

## **OPLATE**

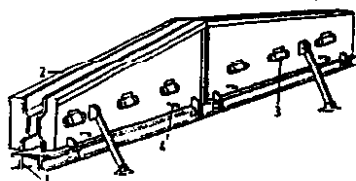
### **68. Oplate – osnovni tehnički uslovi**

Oplate su pomoćne konstr. pomoću kojih se formiraju projektovani oblici betonskih elemenata u konstrukciji, u koju se ugrađuje sveža betonska masa i u kojima se obavlja specijalna nega betona. Mogu biti od različitih materijala: drveta (daske, šper-ploče, panel-ploče), čelika, kombinacije čelik-drvo, plastičnih masa, gume, betona. Mora da zadovoljava uslove u pogledu hermetičnosti spojeva – takva da tokom betoniranja ne dođe do gubitaka betona, pri čemu se može primeniti postupak dodatnog opšivanja. Treba da bude tako izvedena da njeno skidanje bude lako i da ne dođe do oštećenja betona; unutrašnje strane oplate treba da budu čiste i da po mogućstvu budu premazane nekim zaštitnim sredstvima – da smanji slepljivanje oplate i betona i da isključi mogućnost zadržavanja mehurića vazduha (mehurići kvare izgled i mogu negativno da utiču na trajnost elemenata). Oplate koje u celini ili delimično ostaju ugrađene u betonu ne proizvode štetno delovanje na beton (da prouzrokuju koroziju betona ili armature). Uticaji koji deluju na jednu oplatu su sledeći: udari pri punjenju oplate svežim betonom, vert. i horiz. pritisci sveže betonske mase, pri vibriranju, dejstvo vetra, ... Treba da prihvati sve navedene uticaje.

### **69. Oplate – drvene oplate**

I danas se široko primenjuju ali u nešto manjem obimu nego ranije, naročito pri izvođenju jednostavnih objekata. Pored klasične rezane građe, veliku primenu imaju industrijski proizvedeni materijali na bazi drveta – vodootporne šper ploče.

Stubovi, zidovi, ploče – oplate od panela velikih dimenzija koje se dobijaju spajanjem većim brojem dasaka ili oblikovanje većih komada šper-ploča.



Slika 71.6 Čelična oplata prefabrizovanog nosača.

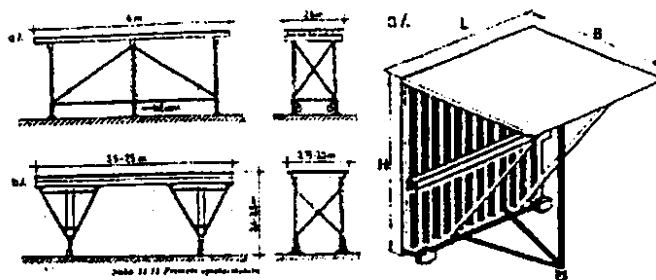
### **70. Oplate – neki osnovni tipovi savremenih oplate, metalne oplate**

Čelične oplate se najčešće primenjuju u prefabrikaciji betonskih elemenata i konstr. kada se od oplate traži veliki broj obrta. Rade se oplate za izradu prednapregnutih betonskih elemenata stepenišnog kraka – dosta komplikovane čelične konstr. ali se radi o industrijskoj proizvodnji – prefabrikaciji. U novije

vreme sve više ulaze u proizvodnju unificirane oplate služe za izvođenje nekih jednostavnijih konstrukcijskih elemenata.

### **71. Oplate – tipizirani sistemi oplate**

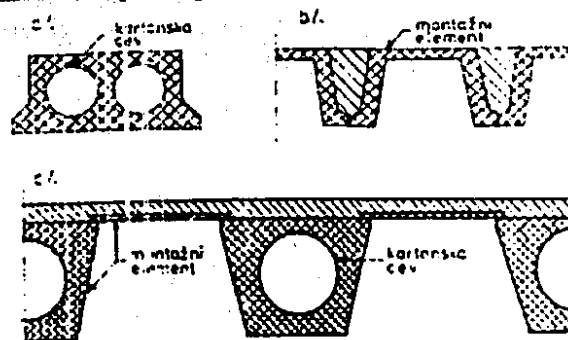
Za izvođenje konstr. elemenata unificiranih oblika i dimenzija- zidova, stubova, među- spratnih ploča itd. U objektima visokogradnje mogu se primenjivati tipizirani sistemi oplata. Oplate-stolovi – za betoniranje međuspr. konstr. tipa punih ploča. Sastoje se od horizontalnih platformi koje formiraju sistemi čeličnih nosača, limova i potpora- teleskopskih uređaja za podešavanje visine. Imaju točkove za premeštanje iz jedne u drugu poziciju. prenosne oplate – za izvođenje betonskih zidova i najčešće se u celini izrađuju od čelika, ali mogu da budu i u kombinaciji šper-ploča – čelični roštilji.



tunelske oplate – spadaju u oplate prostornog tipa pošto je njima omogućeno betoniranje i zidova i međuspratne konstr. One su uvek čelične konstr. pored točkova za pomeranje postoji mogućnost promene visine.

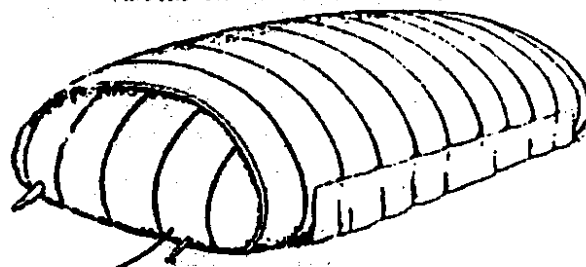
## 72. Oplate – klizna oplata, pokretna oplata, specijalne oplate

Klizna oplata se primenjuje za betoniranje visokih konstr. sa nepromenljivim poprečnim preseccima (stubovi punog ili sandučastog profila, jezgra za ukrucenje zgrada, silosi). Pomeranje- podizanje ostvaruje se pomoću dizalice koje mogu da budu mehaničkog ili hidrauličkog tipa. Oslonci ovih dizalica čelične šipke koje se postavljaju kroz konstr. koja se betonira. Radom dizalica se podiže ceo sistem u koji su uključeni i oplatni paneli. Važno je da sve dizalice u sistemu rade sinhrono, da se po celom obodu konstr. koja se betonira obezbedi ista brzina podizanja.



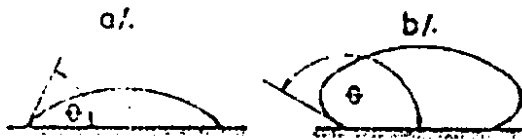
Slika 11.17 Primeri kartonske i betonske oplate

Pokretna oplata – mogućnost pomeranja u horiz. pravcu po odgovarajućim kolosjecima. Primenuju se pri betoniranju objekata tipa tunela i pri građenju konstr. izdužene forme sa konst. profilom. Osnovna karakteristika je postojanost centralnog stuba sa dizalicom, kao i prisustvo zgloba u sredini ukrucenja – rama koji pridržava spoljašnju oplatu. U specijalne oplate se mogu ubrojati oplate od kartonskih cevi, bet. oplate u vidu prefabrikovanih elemenata, pneumatske oplate od sintetičkih traka, gume ili gumenog platna, razni elementi od sintetičkih materijala koji ostaju ugrađeni u bet. konstrukcijama.



Slika 11.18 Pneumatska oplata

### 73. Oplate – mere za smanjenje prijanjanja između oplate i betona, uslovljenost prijanjanja



11.19. Slučajevi hidrofilne (a) i hidrofobne površine (b).

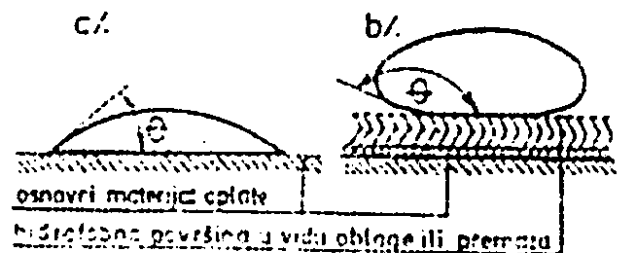
To je pojava usled: 1) mehaničkog povezivanja betona i oplate kao posledica neizbežne hrapavosti oplate, prisustva izbočina... 2) prisustvo athezije – na kontaktu dva različita materijala. Važnu ulogu imaju pokretljivost, krutost i povezanost komponenata betonske smeše, veličina skupljanja, ravnost i poroznost oplate koja je na

kontakta sa betonom. Značajno – uslovi kvašenja koji vladaju u kontaktnom sloju između betona i oplate. kapljice slabije kvase ili ne kvase čvrsto telo

Pojava kvašenja → veći površinski naponi → veće vrednosti athezije (beton mnogo slabije kvasi površine plastičnih masa nego što kvasi površine drveta pa je jače prijanjanje za drvo nego za plastične mase)

### 74. Oplate – osnovni faktori prijanjanja između betona i oplate

Prijanjanje zavisi od mikro i makro strukture površine oplate koja je u kontaktu sa betonom, ali odlučujuću ulogu ima vrsta materijala. Drvo ima mali ugao kvašenja pa je prijanjanje betona za ove materijale znatno veće. Prijanjanje se može posmatrati u funkciji fizičko-mehaničkih karakteristika betona. Ova svojstva su promenljiva u toku vremena pa je značajan faktor – starost betona. Što je beton mlađi pri demontaži se moraju upotrebiti velike sile pri kojima može doći i do otkidanja delova betona. Skupljanje betona negativno utiče na veličinu prijanjanja za oplatu. Veće skupljanje – manje prijanjanje. Hrapavost povećava prijanjanje za beton. Hrapava oplata ima uvek veću površinu kontakta sa betonom od glatke oplate. A ako oplata ima pore može doći do prodiranja cem. paste u porni prostor oplate. Postupcima oblaganja i premazivanja se ostvaruje određeni stepen hidrofobilnosti.



### 75. Oplate – materijali za oblaganje unutrašnjih površina oplate

To su materijali koji predstavljaju obloge – opšivke koje se apliciraju na unutrašnje površine oplata. Materijali koji se koriste moraju da imaju veći stepen hidrofobnosti od osnovnog materijala od koga je izrađena oplata. Koriste se: tanki čelični limovi, lesniti ploče, tanke folije od plastičnih masa, gumene folije i gumirana platna. Postiže se i dobijanje posebnih efekata (glatke površine, imitiranje teksture drveta ili drugih tipova reljefa). Pričvršćavanje ovih opšivki ostvaruje se putem lepljenja, kao i ekserima i zavrtnjima. U građevinarstvu šper-ploče su se pokazale kao dobre oplate, ali za ovakvu namenu moraju da zadovolje uslov vodootpornosti. Postoje šper-ploče sa fabrički nanetim prevlakama od sintetičkih smola. Veliki broj obrtaja i dobijanje betonskih površina visokog kvaliteta. Athezione opšivke omogućavaju da se oplate koriste bez remonta 30-40 puta.

### 76. Oplate – sredstva za premazivanje unutrašnjih površina oplate

Ova sredstva se primenjuju jednokratno, pri cikličnom korišćenju oplate ona se moraju iznova nanositi. Mogu se podeliti na: vodene suspenzije – mešavine različitih fino-disperzivnih materijala i vode; najčešće suspenzije hidratisanog kreča, kamenog brašna, betonita, gline. Na premazanoj površini se formira tanak sloj praha koji sprečava slepljivanje; premazi za hidrofobizaciju površine – najrasprostranjenije emulzije koje se sastoje od dve tečnosti, nerastvorljive jedna u drugoj; premazi usporivači vezivanja – usporivači vezivanja cementa u tankim površinskim slojevima betonskih elemenata. Nedostatak – ne može se kontrolisati debljina sloja betona kome se usporava vezivanje; kombinovani premazi – u čiji sastav ulaze kako hidrofobizatori tako i sredstva za usporavanje procesa vezivanja.

### 77. Oplate – postupci premazivanja oplata

Nanošenje antiathezionih premaza preko površine oplate može se izvršiti pomoću četki, valjaka, prskalice. Bitno je da premaz bude nanet u tankom sloju debljine do 500 µm i da je nanošenje ravnomerno. U slučaju prefabrikacije primenjuju se i naročiti mehanički uređaji za premazivanje (ako se radi o delovima oplate jednostavnog oblika, pr. elementima tipa panela); uređaji sa valjcima i uređaji sa prskalicama. U slučaju oplata od rendisane i nerendisane drvene građe obavezno je prethodno polivanje elemenata vodom, kako ne bi upijala vodu iz svežeg betona. Oplate treba da budu potpuno čiste, što znači da posle svake upotrebe sa oplate treba odstraniti eventualne prilepljene komade betona, očvrslu cem. pastu, ostatak prethodnog premaza. Čišćenje se može vršiti mehanički (primenom raznih četki) ili hemijskim procesima.



## \*1 TRANSPORT SVEŽEG BETONA

### 78) Transport svežeg betona – osnovni stavovi, generalna šema

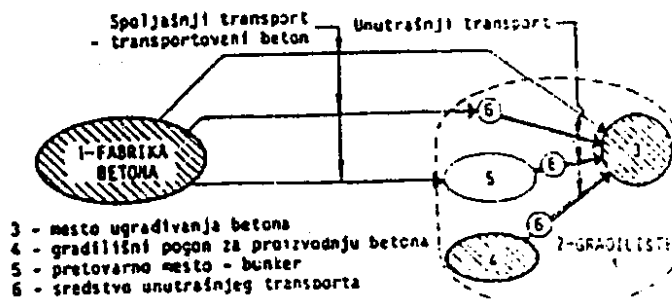
Transport treba izvršiti tako da u slučaju potrebe ne dođe do segregacije i nekih drugih promena, da ne ispari voda kod dužeg transporta. Mere za sprečavanje segregacije: ne istresa se beton pravo iz mešalice već se masa unosi strogo centrisano pomoću levka min 60 cm. Ako nije zadovoljena mešavina pre unosa u oplatu treba još jednom izmešati. Da ne bi došlo do hidratacije cementa i očvršćavanja betona potrebno je što kraće vreme transporta. Uticaj imaju i aditivi. Ponekad aditiv plastifikator treba dozirati neposredno pred ugrađivanje jer se samo tako može obezbediti ugradljivost.

### 79) Transport betona – sredstva spoljašnjeg transporta

Transportuje se drumskim vozilima: kamioni-mešalice (automikseri) 1-10m<sup>3</sup>, silobusi (ugrađeni su agitatori uređaji za uzburkivanje betona), damperi, kamioni kiperi, kamioni sa ravnim platformama (ako se beton nalazi u koritu). Automikseri – može se spravljati beton kao u svakoj drugoj mešalici. Unesu se čvrste komponente koje se mašaju tokom transporta a voda se dodaje neposredno pre istovara. Kod nas se isključuje ovakav način spravljavanja. Silobusi – moguć brz istovar zbog lako okretnih korpi, koji ima poklopac i štiti mešavinu od gubitka vode, zagrevanja i hlađenja. U ostalim vozilima se prevoze betoni krute i slabo plastične konzistencije.

### 80) Sredstva unutrašnjeg transporta

Unutrašnji transport – od određenog mesta na gradilištu do mesta ugrađivanja. Sredstva unutrašnjeg transporta: ručna kolica sa jednim točkom, ručna kolica sa dva točka, prenosne čelične posude (0.3-1.0m<sup>3</sup>) – kible (transportuju se kranovima – toranjskim, portal, kabl kranovima), vagoneti, trakasti transporteri, pumpe za beton. Trakasti transporteri – pri građenju masivnih konstr. Širina trake 300-700 mm, brzina 0.05-3 m/s. Primenuju se viljuškari sa kiblama (1m<sup>3</sup>). Vrše istovremeno horizontalni i vertikalni transport.



Slika 12.1 Generalna šema transporta svežeg betona

### 81) Transport pomoću pumpi

Pumpe mogu biti: klipne, bezklipne, pneumatske. Klipne – (40m<sup>3</sup>/h) beton se može transportovati oko 400 m po horizontali i 50 m po vertikali. Princip rada: mehaničko potiskivanje betona kroz cevovod. Masa se potiskuje klipom. Vakum pumpe – u toku rada se stvara vakum i na taj način se mešavina isisava iz koša, transport 100 m horiz. i 30 m vert. Pneumatske – sud pod pritiskom, priključna cev za dovod komprimovanog vazduha i transportna cev. Učinak 10-20m<sup>3</sup>/h. Cevovodi mogu biti: čelični, plastični, gumeni. Prečnici cevi od 300mm. Najveću primenu imaju auto-pumpe-pumpe montirane na šasiju kamiona (horiz. domet oko 17m a vert. oko 20 m). Brzina kretanja svežeg betona je 1.5-2.5 m/s.  $D_{max} \leq 1/3 \varnothing$  ( $\varnothing > 100mm$ );  $D_{max} \leq 0.25 \varnothing$  ( $\varnothing \leq 100mm$ ). Cevovod treba podmazivati pre upotrebe- propustiti datu mešavinu kada iz nje izbacimo najkrupniju frakciju (0.25-0.5m<sup>3</sup>).

## \*2 UGRAĐIVANJE BETONA

### 82) Ugrađivanje betona – osnovni stavovi, punjenje opte

Sledi nakon faze transporta. Treba završiti pre početka vezivanja cementa u suprotnom ne sme biti ugrađen. Vreme početka ugrađivanja od trenutka završetka mešanja: 2h-pri vlažnom vremenu (kruta konzis.), 1h-pri suvom vremenu (kruta konzis.).

Početak vezivanja naših cementa 60 min. Ugradnja betona: punjenje opte, zbijanje, završna obrada. Opta se puni ili neposredno sipanjem ili putem levka. Može se ubacivati sa bočne strane kroz žlebove (sa kesom) smeštene u oplati – kod beto-niranja stubova, zidova. Prvo se popune kese za onda ulaze u stubove bez segregacije. Beton se može zbijati i ručno ali u savremenoj tehnologiji mašinski. *pa se puni opta bez*

### 83) Efikasnost ugrađivanja betona putem vibriranja

Zbijanju ( $t_{zb} = 4$  min) se pristupa nakon unošenja određene količine betona u oplatu. Izazivaju se prinudne vibracije – vibratorima. Dolazi do bolje upakovanosti i istiskivanja mehurića vazduha pa se privremeno smanjuje i viskozitet. Povećava se zapreminska masa mešavine. Efikasnost zavisi od intenziteta i trajanja vibracija  $\mu = 6\pi^2 a^2 f^3 = k a^2 f^3$ ; a- amplituda oscilovanja, f- frekvencija oscilovanja. Intenzitet se usvaja na osnovu: dimenzija elementa, krupnoće agregata, konzistencije. Krupan agregat – mala f, velika a; sitan

agregat – vrlo visoke f. Vibratori mogu biti: elektro- mehanički, pneumatski, hidraulički i benzinski. Prema konstrukciji se dele: površinske, unutrašnje, oplatne, vibrostolove.

### 84) površinski vibratori

Koriste se kod ugrađivanja betona u površinske elemente podove, ploče, kolovozne konstr. Dubina dejstva do 25 cm. Vreme rada na jednoj poziciji 20-60s, brzina premeštanja 0,1-0,6 m/min.

$$U = 3600 \cdot \frac{F \cdot h_0}{t_1 + t_2} \cdot k_u$$

; F – radna površina ;  $h_0$  – debljina konstr. ;  
 $t_1+t_2$  – radni ciklus ;  $k_u$  – koef. korisnog dejstva

Najčešće za krute ili slabo plastične konzistencije. U njih se ubrajaju: vibroletve, vibrodaske, vibrogrede. Koriste se za završnu obradu – zaglađivanje bet. površina

### 85) Dubinski vibratori

U masu betona unese se pervibratorska igla. Sastoje se od igle, pogonskog motora i mehanizma za transmisiju (rotaciju motora prenose do igle). Radijus dejstva 25-75cm, dubina sloja do 70cm.

$$U = 60 \cdot L \cdot R_d^2$$

$$U = 2 \cdot R_d^2 \cdot d \cdot \frac{3600}{t_c} \cdot k_u$$

$R_d$  – radijus dejstva  
 $t_c$  – vreme ciklusa

Igla ne sme da dodirne oplatu ni armaturu ni kablove za prednaprezanje. Kod većih bet. elemenata sipanje betona i vibriranje istovremeno.

### 86) Oplatni vibratori, vibrostolovi

Pričvršćuju se za oplatu i koriste se kad se ne mogu primeniti dubinski zbog gustine armature ili malih elemenata. Oplata mora biti čvrsta da se ne bi oštetila i dovoljno elastična sa druge strane da se vibracije prenese na beton.

Razmak vibratora:

$$l_{max} = 3 \cdot \sqrt[4]{\frac{E_o \cdot I_o}{m_o \cdot f^2}}$$

$m_o$  – masa jedinice dužine oplata

Dubina delovanja do 25 cm. Vibrostolovi – na gornje horizontalne ploče se postavi oplata (kalup) i tako se prenosi na beton najčešće u uslovima prefabrikacije. Veličina vibrostolova do 15 m dužine.

### 87) Završna obrada gornjih površina

Vrši se ručnim alatom ili mehaničkim napravama. Ručni alat: gladilica, glačalica, perdašica, mistrija, daske za ravnjanje, razgrtači. Mehaničke naprave: vibroravnjače (vibroletve, vibrodaske, vibrogrede).

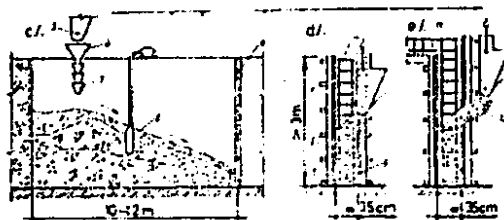
## POSTUPCI IZVOĐENJA NEKIH UOBICAJENIH TIPOVA KONSTRUKCIJA

### 88. Postupci izvođenja nekih uobičajenih tipova konstr. Način i faze betoniranja - betoniranje temelja.

Treba nastojati da beton bude ugrađen bez prekida, ali kod većih elemenata mora se betonirati u dve ili više faza (sa prekidima). Slabo armirani temelji: ugrađuje se beton sa veličinom sleganja 1-3 cm. Jako armirani temelji: ugrađuje se plastičniji beton sa sleganjem od 3-6 cm. Temeljne konstr. većih visina (preko 3 m): beton se unosi u dve faze – I faza: beton se unosi u stopu ; II faza: u deo iznad stope primenom levka. Ako je deo iznad stope veće visine radi se prekid betoniranja od 1-2 h zbog sleganja.

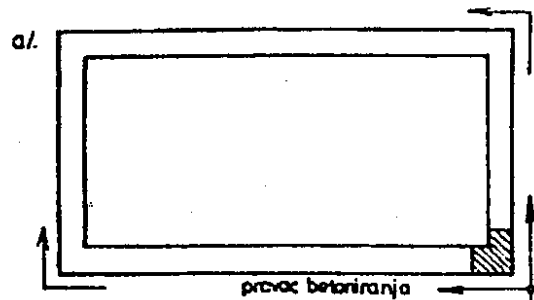
### 89. Betoniranje zidova i stubova

Betoniranje zidova i stubova u lamelama dužine 10-12 m pri čemu se između lamela postavlja privremena oplata (tzv. radne razdelnice) definiše položaj prekida betoniranja. Za zidove do 3 m visine beton se unosi u oplatu sa gornje strane pomoću levka u nekoliko tačaka po dužini zida u slojevima debljine 30-40 cm. Tanki zidovi do 15 cm betoniraju se u lamelama i po visini. Oplata je sa jedne strane urađena u celini a sa druge se radi u sekcijama koje odgovaraju visini lamele pa se beton ugrađuje sa boka i zbija vibratorom. Betoniranje zidova kontinualno iz jednog ugla se napreduje u dva pravca unočenjem betona u nekoliko slojeva po visini. Stubovi visine do 5 m (ispod 80x80 cm) beton se ubacuje neposredno u oplatu uz primenu dubinskih vibratora. Stubovi veće visine i većih preseka – beton se unosi pomoću levka i vibrira dubinski ili oplatnim vibratorom. Vrlo visoki stubovi i stubovi sa gustom armaturom – najefikasnije se betonira kroz otvore u oplati.



1 - oplata; 2 - vertikalna ukrućenja; 3 - horizontalna ukrućenja; 4 - oplata radne razdelnice; 5 - kibla; 6 - prijemni levak; 7 - levak vodica; 8 - dubinski vibrator; 9 - sloj betona; 10 - "džep"; 11 - armatura

Slika 14.7 Betoniranje zidova

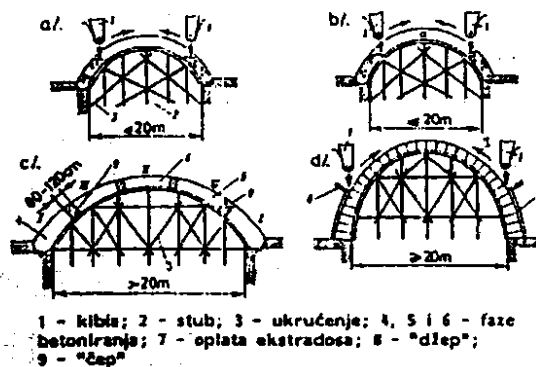


## 90. Betoniranje međuspratnih konstrukcija

Proste grede se po pravilu betoniraju odjednom ili u dve faze (kod velikih raspona). Tad se prekid radi u srednjoj trećini raspona pri čemu se faze mogu razdvojiti "čepom". Međuspratne konstr. mogu se betonirati u pravcu pružanja glavnih ili sekundarnih nosača. Beton treba razastirati putem kible koju prenosi kran u susret betoniranju. Ukoliko je nemoguće betonirati odjednom radi se u dve ili tri faze.

## 91. Betoniranje lukova i ljski

Plitki dvozglobni ukliješteni lukovi betoniraju se sa dve strane od oslonca ka temenu isto tako i trozglobni. Lukovi u rasponu preko 20 m betoniraju se u lamelama. Dvozglobni i ukliješteni – broj lamela treba da je neparan; trozglobni – broj lamela je paran. Između lamela ostvaruju se čepovi 0,8-1 m. Prvo se betoniraju oslonačke lamele a onda lamele u zoni temena, pa onda ostale simetrično od oslonca ka temenu. Čepovi se betoniraju 6-8 dana od završetka betoniranja lamela. Zatege lukova se betoniraju kada se konstr. oslobodi od skele. Ljuske (cilindrične) – betoniraju se u lamelama dužine 5-10 m između kojih se formiraju razdelnice. Obavezna primena privremenih oplata koje se postavljaju upravno na poprečni presek. Ljuske do 15 m – betoniranje od oslonca ka temenu uz primenu površinskih ili dubinskih vibratora, a preko 15 m rade se u kampadama od oslonca ka temenu (između "čepovi").



Slika 14.8 Betoniranje lukova.

## 92. Betoniranje konstr. tipa podloga, platformi i podova

Podloge – površina se deli na trake od 3-4 m širine i betonira se po dužini tih traka. Prekid betoniranja 2-3 dana pa nastavak uklanjanjem oplata iz betoniranog dela tako da zazor praktično ne postoji. Upravno na radne spojnice postavljaju se prividne spojnice (metalne ili drvene) od 80-100 mm širine i 4-10 mm debljine za smanjenje štetnih uticaja temperature, skupljanja betona i neravnomernih sleganja. Konstrukcije velikih površina betoniraju se u šahovskom poretku sa formiranim radnim ili dilatacionim spojnicama.

## 93. Prekid betoniranja – radne razdelnice i nastavak betoniranja

Kontinualno betoniranje obezbeđuje nabolji kvalitet konstr. Prekidi se prave iz tehničkih razloga i iz razloga smanjenja štetnih posledica skupljanja betona. Na mestima gde je došlo do prekida betoniranja dobijaju se radne razdelnice koje predstavljaju osetljiva mesta (čvrstoća, vodonepropustljivost). Prekid – kada se beton ugrađuje horizontalno u slojevima. Ako se pri betoniranju gornjeg sloja ponovo vrši vibriranje donjeg sloja stvara se dobra veza pa kratkotrajni prekid nema uticaja u zoni nastavka betoniranja. Ako postoji opasnost od "sedenja" betona tu su predviđene radne razdelnice da ne bi došlo do cepanja betona usled naknadnog sleganja. Prekida se sa betoniranjem na 2 h. Iz istih razloga razdelnice pravi na spojevima greda i ploča. Razdelnice smanjuju čvrstoću, vodonepropustljivost, otpornost na dejstvo mraza, pa ih zbog toga treba postavljati na mestima najmanjih uticaja, po mogućstvu upravno na pravac glavnih napona. Postavlja se odgovarajuća privremena oplata. Pre nastavka sledeće faze betoniranja vrši se čišćenje kontaktne površine betona i uklanjanje oplata, a zatim navlaži vodom. Betoniranje se nastavlja slojem "masnijeg" betona 2-5 cm (izostavljanje najkrupnije frakcije) i to kod horizontalnih razdelnica akod vertikalnih se koristi sloj cem.maltera.

# NEGA UGRAĐENOG BETONA I DEMONTAŽA OPLATE

## 94. Nega ugrađenog betona i demontaža oplata – opšti stavovi

Sastoji se u sprečavanju isparavanja vode – polivanjem vode. Voda je potrebna za proces hidratacije – da spreči posledice skupljanja betona. Kvašenjem se takođe hladi beton – značajno kod masivnih elemenata u kojima se oslobađa visoka toplota hidratacije koja uzrokuje velike unutrašnje napone pa se javljaju pukotine i prsline. Sa vlaženjem se počinje 3-6 h nakon ugrađivanja a najmanje 7 dana traje (beton postiže 60% predviđene marke). Ne sme se koristiti morska voda. Beton se može vlažiti polivanjem, pokrivanjem mokrim asurama, hartijom, plastičnom folijom. Danas se dosta koriste razna specijalna sredstva za premazivanje ili prskanje. To su tečnosti na bazi parafina, silikona, sintetičkih smola, koje se skidaju nakon dve nedelje ili ostaju. Skidanje oplata se vrši po fazama bez potresa i udara. BAB87- opata se skida kada se zadovolje sledeći uslovi: kada je postignuto 30% prosečne MB za zidove, stubove i temelje ; 70% postignute MB za ploče i donja oplata greda. Posebno pažljivo treba skidati oplate lukova, svodova, ljuski.

## 95. Svrha i postupci nege ugrađenog betona

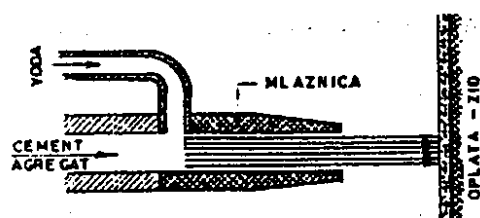
Kada se skine oplata uočavaju se defekti koji se moraju sanirati pre početka eksploatacije: sitna ispućčenja usled neodgovarajućeg kvaliteta oplata, otkidanje betona usled nepažljivog skidanja oplata, mesta segregacije i izrazite poroznosti usled lokalnog iscurivanja cementa i maltera, prsline i pukotine usled skupljanja betona, termičkih naprezanja. Otklanjaju se ručnim brušenjem ili ispunjavanjem cem. malterom, krupnija udubljenja se štemuju i čiste do zdravog betona i očiste od prašine vazduhom pod pritiskom pa se betonira betonom istog ili višeg kvaliteta. Pukotine i prsline se injektiraju sintetičkim smolama, a veće suspenzijom na bazi cementa, a sve se ispiraju običnom vodom da bi se obezbedilo prijanjanje injekcione mase.

## SPECIJALNI POSTUPCI I SPECIFICNE TEHNOLOGIJE BETONIRANJA

## 96. specijalni postupci i specifične tehnologije betoniranja – tehnologija livenja i samozbijajući beton (SCC beton)

Livenje je bilo aktuelno od samog početka primene betona. Danas se livenjem može dobiti beton visokih fizičko-mehaničkih svojstava i trajnosti korišćenjem aditiva (plasti- fikatora i superplastif.) uz smanjenje m/mc. Liveni beton ima početnu konzistenciju sa veličinom sleganja 16 cm. Beton se prostire unutar oplata samo pod uticajem gravitacije (bez upotrebe vibratora). Obično se transportuje betonskim pumpama. Tehnologija livenja je zastupljena u izradi prefabrikovanih elemenata (ploča, zidova, fasadnih panela).

## 97. Mlazni beton



Slika 16.3 Torbrevni top.

Postupak nabacivanja betona na jednostranu oplatu ili neki zid, stenu putem komprimovanog vazduha. Postupak je skup ali beton dosta gust, čvrst i vodonepropustljiv. Postoje dva postupka: suvi i mokri. Suvi: suvoj mešavini cementa i agregata se dodaje voda neposredno pred nabacivanje, agregat (zrna do 8mm), suv, čist. Beton izlazi iz topa brzinom od 100 m/s i lepi se za datu površinu, jedan deo otpadne (odskok) na početku nabacivanja. Optimalna

debljina nabačenog sloja 25-30 mm. Top se drži 70-100 cm od površine. Za smanjenje odskoka i bolje lepljenje dodaju se posebni aditivi. Mokri postupak: sve komponente se istovremeno mešaju i izbacuju brzinom od 120 m/s. Top se nalazi na odstojanju 1-1,2 m a optimalna debljina sloja 50-70 mm.

## 98. Podvodno betoniranje

Kod podvodnih tunela, stubova mostova, donjih ploča temelja, bunara. Betonske mešavine tečne konzistencije sa sleganjem 16-20cm. Bet. mešavina se sipa u čelične cevi Ø300 mm koje se formiraju od elemenata dužine 0,5-1 m, prvo se spuštaju do 20 cm od dna konstrukcije pa se posle toga podiže ugrađivanjem betona, ali uz uslov da mora biti zaronjena u betonsku masu min 1,0 m. Sa donje strane imaju poklopac koji omogućava da ne uđe voda pri betoniranju. Radijus dejstva jedne cevi je oko 6 m, pa se one postavljaju na 10-11 m. Da bi se sprečilo ispiranje betona konstrukcija se ogradi zagatom (oplatom). Agregat za podvodni beton do 31,5 mm krupnoće, a cement min. 300 kg/m<sup>3</sup> betona. Dubina betoniranja pod vodom do 50 m.

## 99. Prepakt beton

Posebno se ugrađuje krupan agregat pa se prostor između zrna ispuni cem. malterom. Postoje dva postupka: gravitacioni, injekcioni. Za masivne konstr. koriste se dve frakcije sa krupnoćom 30-40 mm i krupan sa

krupnoćom 6-10 puta većom od sitne frakcije. Za konstr. manjih dimenzija i gušćom armaturom — frakcija 30/40 mm. Cementni malter od peska u razmeri 1:1 (1:2), koriste se plastifikatori i superplast. Gravitaciono nalivanje za konstr. do 1,2 m visine, za sve ostale injekciono nalivanje maltera. Prepakt beton smanjuje količinu materijala za mešanje, isključuje upotrebu razdelnica, dobija se beton sa malim skupljanjem. Nedostatak: otežana kontrola zapunjenosti između zrna agregata i potreba izrade oplata visokog kvaliteta.

## 100. Torkretiranje – mlazni beton

postupak nabacivanja betona na jednostranu oplatu ili neki zid, stenu putem komprimovanog vazduha. Postupak je skup ali beton dosta gust, čvrst i vodonepropustljiv. Postoje dva postupka: suvi i mokri. Suvi: suvoj mešavini cementa i agregata se dodaje voda neposredno pred nabacivanje, agregat (zrna do 8mm), suv, čist. Beton izlazi iz topa brzinom od 100 m/s i lepi se za datu površinu, jedan deo otpadne (odskok) na početku nabacivanja. Optimalna debljina nabačenog sloja 25-30 mm. Top se drži 70-100 cm od površine. Za smanjenje odskoka i bolje lepljenje dodaju se posebni aditivi. Mokri postupak: sve komponente se istovremeno mešaju i izbacuju brzinom od 120 m/s. Top se nalazi na odstojanju 1-1,2 m a optimalna debljina sloja 50-70 mm.

## 101. Vakumiranje

Sušćina vakumiranja je oduzeti „višak“ vode iz mešavine spravljene sa većom količinom vode, nakon ugrađivanja mehaničkim putem. Izbetonirani element se presuje specijalnim pokrivačem i kad se uključe vakum pumpe, između se stvara vakum i pod njegovim uticajem dolazi do istiskivanja vode iz mase svežeg betona. Dobija se bolja upakovanost, veća čvrstoća, manje skupljanje. Pošto mu je dejstvo najviše izraženo na površini primenjuje se kod debljina do 30 cm. Najčešće se primenjuje kod prefabrikovanih elemenata: ploča, ljski, svodova, stubova. Elementi se obavezno vibriraju a efikasnost se povećava pri kombinovanom delovanju vibracija, presovanja i vakumiranja.

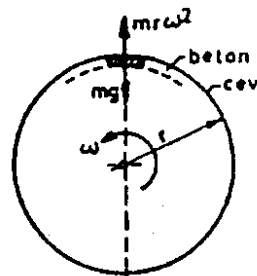


1 - komora pod pritiskom; 2 - mesto za uvođenje vazduha pod pritiskom; 3 - metalni poklopac; 4 - površina preko koje se vrši presovanje; 5 - betonska smeša; 6 - vibrosto; 7 - vakuum-pumpa; 8 - mesto "isusavanja"; 9 - vibrator

Slika 16.7 Šema uređaja za vakumiranje.

## 102. Centrifugiranje

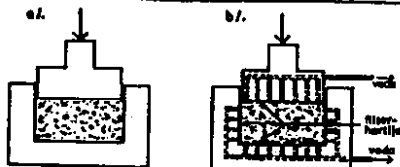
Kod proizvodnje prefabrikovanih elemenata kružno-prstenastog pop.preseka (cevi, šuplji stubovi). Beton se ugrađuje delovanjem centrifugalne sile pri rotaciji (kalup je horizontalno postavljen- cev koja rotira oko podužne ose). Operacije – punjenje kalupa betonom, raspoređivanje mase i kompaktiranje sa odvođenjem viška vode. Proces raspoređivanja mešavine traje 8 min a kompaktiranje 12 min. Bet. mešavine su sa sleganjem 4-6 cm. Treba upotrebiti agregat sa max krupnoćom zrna 15-20 mm. Prednosti: beton visoke čvrstoće i element je oslobođen viška vode odmah nakon centrifugiranja. Nedostatak: velika potrošnja cementa do 450 kg/m<sup>3</sup>.



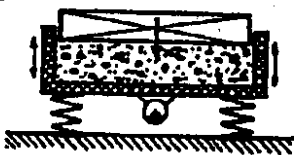
Slika 16.9 Šema sile koje deluju pri centrifugiranju.

## 103. Presovanje

Koristi se kod proizvodnje prefab. elemenata – ravnih ploča, manjih greda, betonskih cevi. Dolazi do prinudnog mešanja i zbližavanja čvrstih komponenti mešavine. Koristi se manja količina vode. Pri presovanju spoljašnji pritisak se prenosi po dubini materijala i dolazi do zbijanja gornjih slojeva. Najbolji efekat pri upotrebi sitnozrnih betona krute konzistencije i upotreba manje količine cementa 100-150 kg/m<sup>3</sup>.



Slika 16.10 Osnovni (a) i filtracioni presovanje (b).

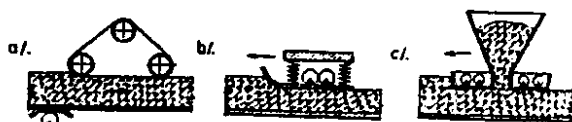


Slika 16.12 Vibriranje pod opterećenjem.

Beton plastične konzistencije – upotreba filtracionog presovanja. Cevasti elementi se proizvode postupkom radijalnog presovanja. Organ za presovanje je rotirajući element koji se translatočno kreće kroz cev. Postupak presovanja često se kombinuje sa vibriranjem.

## 104. Vibrovaljanje

Je postupak kontinualnog ugrađivanja betona na pokretnoj traci. Primenjuje se kod ravnih i sitnorebrastih ploča i zidnih panela. Osnovni element je beskonačna metalna traka koja je



Slika 16.15 Vibrovaljanje.

istovremeno i donja oplata. Masa se zbija valjanjem a može se primeniti i vibrator. Kod izrade teških kolovoznih konstr., masivnih ploča, betonskih brana, valjanje se izvodi uobičajenim valjcima za zemljane radove.

## 105. Ekstrudiranje

Betonski element se formira zahvaljujući simultanom delovanju ekstruzije (istiskivanja), presovanja i vibriranja svežeg betona. Proizvode se olakšane betonske ploče ili ploče sa kružnim otvorima, dužina ploče=dužini staze po kojoj se kreće ekstruder a debljina od 20-40 cm, širina 1-1,5 m. Betoni namenjeni ekstrudiranju spravljaju se sa količinom cementa od 400-420 kg/m<sup>3</sup>. Čvrstoća ovakvih betona pri vodozem. faktoru 0.35-0.4 iznosi 60 Mpa. Dužine staza su često i preko 100 m. Proizvode se i elementi od amiranog i prednapregnutog betona.

## UBRZANO OČVRŠĆAVANJE BETONA

### 106. Ubrzano očvršćavanje betona – opšti stavovi i vrste ubrzanog očvršćavanja

Očvršćavanje betona u uniformnim uslovima (normalna temp., uobičajena vlažnost, uobičajen režim) je dugotrajan proces. Normalna čvrstoća se dobija pri starosti od 28 dana, dok u periodu od 28 dana ovaj porast zavisi od niza faktora. Ti faktori su sastav betona, primena tehnološkog procesa, temp. Delovanjem na ove faktore proces očvršćavanja se može ubrzati. Ovo je najčešće potrebno u proizvodnji prefabrikovanih elemenata gde je potrebno što pre osloboditi kalupe i tako ubrzati proces proizvodnje. Postoje tri osnovne metode za postizanje većih početnih čvrstoća: 1) tehnološka, 2) hemijska, 3) fizička. Tek nakon niza laboratorijskih i drugih proba odlučujemo koju ćemo metodu usvojiti.

### 107. Tehnološke metode

U ovu grupu spadaju: ① upotreba odgovarajuće vrste i količine cementa. Brži porast čvrstoće je pri upotrebi cementa viših klasa ili upotrebi nekih specijalnih vrsta.

② upotreba nižih vodozem. faktora – primena veće količine cementa pri nepromenjenom sadržaju vode, primenom betona krute konzistencije i primenom aditiva, izvlačenje količine vode (vakumiranje, centrifugiranje, presovanje). ③ revibriranje betona – to je ponovno vibriranje nekoliko časova nakon završetka ugrađivanja što povećava čvrstoću i do 40% nakon prvih 14 dana. Revibriranje može da dovede i do destrukcije u cem. kamenu formiranom do tog momenta. Najčešće se izvodi 1,5-3 h nakon prvog vibriranja. Hemijske metode se zasnivaju na dodavanju akceleratora.

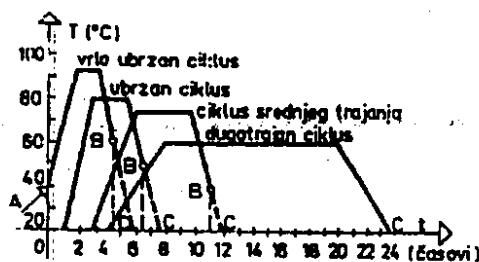
### 108. Fizičke metode - zaparivanje

To je vid hidrotérmičke obrade. Proces se odvija pod normalnim atmosferskim pritiskom, a sprovodi se u specijalnim tunelima ili komorama. Elementi se izlažu dejstvu pare 60-95°C. Zaparivanje je u funkciji primene cementa različite vrste – različiti efekti.

Ako se primeni ubrzan ciklus zaparivanja, ugrađuje se već zagrejan svež beton ( $\leq 40^\circ$ )

B- definisano vreme nakon koga se može osloboditi kalupa. U svim

ostalim ciklusima beton prvo odeži na sobnoj temperaturi (20°C) nakon ugrađivanja u kalup. Efekti zavise od trajanja izotermičkog procesa, konzistencije i cementa. Vodonepropustljivost i otpornost na dejstvo mraza je manja pa ne treba zaparivati betone.



Slika 17.4 Režimi zaparivanja.

### 109. Kontaktno zagrevanje

Je vid termičke obrade gde element nije neposredno izložen zagrejanoj vodenoj pari već indirektno. On je zaštićen vodom i gasno nepropustljivom pregradom, a para cirkuliše u zatvorenom prostoru, preko površina deluje na element. Primer: termički tretman u vertikalnim kasetama u trajanju od 8-12 h. Para se uvodi u termoaktivne panele. Prisutan je relativno mali utrošak pare.

### 110. Autoklaviranje

Je vid termičke obrade koja se sprovodi u uslovima povišenog pritiska i na  $T > 100^\circ\text{C}$ . Koriste se specijalne čelične komore – autoklave. Spolja su obložene termoizolacionim materijalom. Efikasan je kod betona sa portland cementom i dodacima kvarcnog brašna ili elektrofilterskog pepela. Faze: povećanje pritiska i T, zaparivanje pri const. pritisku i T i snižavanje T i pritiska. Nedostatak – veliki proizvodni troškovi.



# IZVOĐENJE BETONSKIH RADOVA U EKSTREMNIM KLIMATSKIM USLOVIMA

## 1.1 Izvođenje betonskih radova u ekstremnim klimatskim uslovima

### – betoniranje na niskim temp. – sastav betona i primena aditiva

Ukoliko se betonira na  $T$  ispod  $5^{\circ}\text{C}$  treba se pridržavati sledećih pravila: 1) koristiti cimente viših toplotnih hidratacija (veće klase i manji procenat zguće) 2) izbegavati pucolanske cimente. 3) koristiti niže vodonosne faktore (korišćenjem plastifikatora).

4) koristiti aditive ubrzivače vezivanja (akceleratora) 5) upotrebljavati specifične dodatke – antifriz (deluju na snižavanje smrzavanja u svežem betonu).

Aditive antifriz ne treba upotrebljavati ako će objekat u toku eksploatacije biti izložen  $T > 60^{\circ}\text{C}$  ili ako će se nalaziti u hemijski agresivnim sredinama. Min  $T$  svežeg betona pri ugrađivanju mora biti iznad  $5^{\circ}\text{C}$  (kod masivnih preseka). U fazi spravljanja mora biti za nekoliko stepeni veća zbog transporta. Primenjuje se postupak zagrevanja na principu jednačine toplotnog bilansa svežeg betona:

$$T_{b0} = \frac{S_a \cdot T_a \cdot m_a + S_c \cdot T_c \cdot m_c + S_v \cdot T_v \cdot m_v}{S_a \cdot m_a + S_c \cdot m_c + S_v \cdot m_v}$$

$T_{b0}$  – početna  $T$  svežeg betona

Kako je  $S_a \approx S_c = 0.84 \text{ kJ/g}^{\circ}\text{C}$  i  $S_v = 4.2 \text{ kJ/g}^{\circ}\text{C} \Rightarrow$

$$T_{b0} = \frac{0.2 \cdot (T_a \cdot m_a + T_c \cdot m_c) + T_v \cdot m_v}{0.2 \cdot (m_a + m_c) + m_v}$$

$S_a, S_c, S_v$  – specifični toplotni kapaciteti

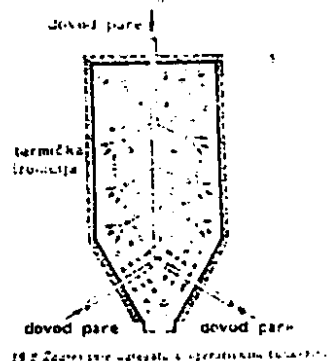
Da bi se  $T_{b0}$  povećala za  $1^{\circ}\text{C}$  treba povećati  $T_a$  za  $1.5^{\circ}\text{C}$ ,  $T_c$  za  $10^{\circ}\text{C}$  i  $T_v$  za  $3.5^{\circ}\text{C}$ .

### Princip zimskog betoniranja

Radi se zagrevanje agregata putem vodene pare. Para izlazi iz perforiranih čeličnih cevi postavljenih kroz oprativne bunke. Izvodi se termička zaštita bunčera i silosa za agregat i cement. Dolazi do neravnomernog povećanja vode u agregatu.

U mešalicu se dozira agregat, zatim topla voda a malo kasnije kada se voda ohladi (ispod  $30^{\circ}\text{C}$ ) dozira se cement. Koriste se transportna sredstva sa termičkom zaštitom ili ona koja mogu u toku transporta zagrevati mešavinu. Posle ugrađivanja

betona radi se sledeće: pokrivaju se otvorene površine ili celi elementi izolacionim materijalom; izrađuje se oplata sa izolacionim slojevima. Izbetonirani elementi se postavljaju u zatvorene prostorije, mogu se zagrevati putem vodene pare, električnom strujom. Pukotine mogu nastati usled velikog temperaturnog gradijenta (niska spoljašnja a visoka unutrašnja). Upotreba drvene oplata je dobra zaštita. Beton mora pre prvog smrzavanja imati bar polovinu zahtevane čvrstoće i mora biti otporan na dejstvo mraza i soli. Princip spasavanja zamrznutog betona moguć je samo u početnom stadijumu nakon ugrađivanja.



### Termos metoda

Betonska mešavina sa  $T = 25-45^{\circ}\text{C}$  ugradi se u termički izolovanu oplatu i tako se u procesu očvršćavanja koristi i uneta toplota i toplota hidratacije. Preko modula površine se izražava efikasnost termos metode.

$M_p = F \cdot A$ ;  $F$  – ukupna površina preko koje se vrši hlađenje;  $V$  – zapremina konstrukcije

Ako je  $M_p < 6$  – uspešno se koristi metoda. Termos metoda se zasniva na stavu da ukupna količina toplote u betonu treba da bude jednaka gubicima toplote koje će imati konstr. pri hlađenju do  $0^{\circ}\text{C}$  za vreme  $t_h$ . Tokom  $t_h$  beton treba stalno da ima pozitivnu temp. i unapred utvrđenu čvrstoću.

$$t_h = \frac{\gamma_{b,sv} \cdot S_b \cdot T_{bu} + m_c \cdot Q_{ch}}{3.6 \cdot M_p \cdot (T_{b0} - T_u)} \cdot \frac{R_{op}}{\alpha}$$

$t_h$  – vreme hlađenja do  $0^{\circ}\text{C}$ ;  $T_{bs}$  – srednja temp. betona;  $T_{bu}$  – početna temp. na mestu ugrađivanja;  $T_u$  – temp. vazduha;  $M_p$  – modul površine;  $\alpha$  – popravni koef. za uticaj vetra;  $Q_{ch}$  – toplota hidratacije upotrebljenog cementa;  $R_{op}$  – ukupni otpor prolaza toplote za oplatu.



## **114 Betoniranje na povišenim temp. – uticaj na svojstvo svežeg i očvrsllog betona**

Osim povišene temp. ( $>30^{\circ}\text{C}$ ) postoje i dva dodatna prisutna faktora: niska relativna vlažnost i povećana brzina vetra. Na povišenim temp. dešava se: brza promena konzistencije i skraćanje vremena početka vezivanja svežeg betona, brzo isparavanje vode praćeno plastičnim skupljanjem, nastaju prsline i pukotine kao posledica skupljanja, smanjuje se nominalna čvrstoća. Treba preduzeti sledeće mere: povećati količinu vode, preduzimajući se sve tehnološke mere za obezbeđivanje zahtevanih karakteristika, smanjiti cement i koristiti cement nižih tonlota hidratacije, upotrebiti aditive retardere. Temp. u masi ugrađenog betona ne sme biti veća od  $65^{\circ}\text{C}$  u protivnom mere snižavanja temperature.

## **115 Mere za snižavanje temperature svežeg betona**

Temp. svežeg betona pri ugrađivanju treba da bude do  $30^{\circ}\text{C}$ . Da bi se dobila niža početna temp. treba smanjiti temp. komponentata na sledeći način: lagerovanjem vode u cisterne ukopane u zemlju, termička zaštita silosa za cement, zaštita agregata od sunca ili povremeno kvašenje krupnih frakcija agregata, moguće intenzivnije hlađenje vode u hladnjacima (kulerima). Na ovaj način se dobija temp. vode oko  $6^{\circ}\text{C}$ . Može se i u cisterne za vodu ubacivati drobljeni led ili se led ubacuje direktno u mešavinu.

$$T_{b_0} = \frac{0,2 \cdot (T_a \cdot m_a + T_c \cdot m_c) + T_v \cdot (m_v - m_l) - 80 \cdot m_l}{0,2 \cdot (m_a + m_c) + m_v}$$

## **116 Spravljanje, transport, ugrađivanje i nega betona**

Pogoni za spravljanje betona treba da su što bliže gradilištu. Mešanje treba da je što kraće jer je duže mešanje praćeno dodatnim zagrevanjem. Mešalicu zakloniti od sunca i izolovati je termičkom zaštitom. Transport izvoditi bez zastoja i koristiti transportna sredstva hermetički izolovana. Sredstva unutrašnjeg transporta obojiti belom bojom. Najmanje 30 min pre ugrađivanja treba izvršiti hlađenje oplata putem polivanja vodom, ali treba omogućiti da ova voda brzo istekne iz oplata. Mesto ugrađivanja zaštititi od sunca i vetra ili odložiti betoniranje za popodne, ili noću. Negu treba započeti odmah po kompaktiranju. Negovanje putem pokrivanja betona materijalima koji upijaju i zadržavaju vodu treba da traje najmanje 7-10 dana (pokrivači od jute, filca itd).

## **\* KONTROLA KVALITETA BETONA**

### **117 Kontrola kvaliteta – opšti stavovi**

Kontrola svih faza tehnološkog procesa

Kontrola se deli na:

① kontrolu proizvodnje betona,

② kontrolu saglasnosti sa uslovima projekta. Za betone B I nije potrebna kontrola proizvodnje betona, nju zamenjuje kontrola najmanje količine cementa. Za betone B II obavezne obe kontrole.

Kontrolu proizvodnje betona vrše:

① proizvođač – do vremena predaje betona,

② izvođač – od preuzimanja do završetka negovanja. Kontrolom saglasnosti sa uslovima projekta dokazuje se kvalitet ugrađenog betona – da li je postignuta zahtevana MB i druga svojstva.

### **118 Partije betona**

Beton se preuzima po partijama za određene delove objekta. Svaka partija ima više uzoraka koji daju ocenu MB. Partija betona je količina iste klase ili iste vrste betona koja se priprema i ugrađuje pod istim uslovima. Veličina partije zavisi od potrebne količine. Uzorci se unapred odrede projektom ili programom kontrole. Količina jedne partije ne bi trebalo da bude veća od one koja se može ugraditi za jedan mesec. Broj uzoraka jedne partije je od 3-30.

### **119 Kontrola proizvodnje betona**

Treba ispitivati: ① sve komponente; ② proizvodnu sposobnost fabrike; ③ svojstva očvrsllog betona tj. MB; ④ ugrađivanje i negu betona.

① agregat – se testira u skladu sa naredbom o atestima po frakcijama: ispituje se vlažnost sitnih frakcija, gran. sastav, količina sitnih frakcija. Cement: ispituje se konzistencija, početak i kraj vezivanja, stalnost zapremine. Treba odvojiti poseban uzorka koji se čuva 6 meseci radi kasnijeg dokazivanja kvaliteta ili eventualnog uzroka oštećenja. ② ispituje se na početku novog proizvodnog procesa i svakih 12 meseci redovnog rada. Kontrole

rada uređaja za mešanje. Kontrola svežeg betona: konzistencija, temp. ... ③ ispituje se Mb i može biti: tekuća (obavlja se min 1 mesečno) i dokaz MB na svakih 3 meseca. Uzima se 1 uzorak dnevno ili na svakih 50m<sup>3</sup>, ili isto tako 1 na svakih 100m<sup>3</sup> ako je proizvodnja veća od 2000 m<sup>3</sup>.

## 120 Kontrola saglasnosti sa uslovima projekta

Ocenjuje se MB i ostala zahtevana svojstva. Ocena MB se vrši po partijama na osnovu 3 kriterijuma ① ako imamo rezultate 3, 6, 9, 12 ili 15 uzoraka  $m_3 \geq Mb + k_1$   $x_1 \geq MB - k_2$ ;  $m_3$  – aritmetička sredina tri uzastopna rezultata;  $k_1=k_2=3$  MPa za uhodanu proizvodnju;  $k_1=4$  MPa i  $k_2=2$  MPa za neuhodanu proizvodnju;  $x_1$  – min od tri uzastopna rezultata.

② za  $10 \leq n \leq 30$ ;  $m_n \geq MB + 1,2 \cdot \sigma$ ;  $x_1 \geq Mb - 4$  MPa

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum (m_{n0} - x_i)^2}{n_0}}$$

$m_{n0}$  – srednja vrednost  $\Sigma x_i$   
 $m_n$  – srednja vrednost rezultata

③ za  $15 \leq n \leq 30$  preko standardne devijacije  $S_n$

$$S_n = \sqrt{\frac{\sum (m_n - x_i)^2}{n - 1}}$$

$m_n \geq MB + 1,3 \cdot S_n$   
 $x_1 \geq MB - 4$  Mpa