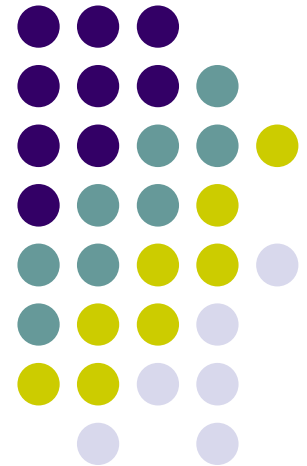


Reološka svojstva očvrslog betona

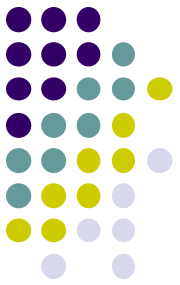
Predavanje, 22.11.2016.



Pripremili:
Van.prof.dr.Merima Šahinagić-Isović
Viši ass.mr.Marko Čećez

SADRŽAJ

- Reološke osobine očvrslog betona
 - Skupljanje betona
 - Tečenje betona
 - Linearno tečenje betona
 - Relaksacija napona
 - Reološki model betona



Reološke osobine očvrslog betona



- ⇒ Osnovne reološke karakteristike betona su:
 - Skupljanje betona
 - Tečenje betona
 - Relaksacija napona
- ⇒ Zavise od učešća cementnog kamena u **makrostrukturi** betona, te od **mikrostrukture** samog cementnog kamena
- ⇒ Parametri koji utiču:
 - ⇒ vrsta i količina cementa
 - ⇒ vodocementni faktor
 - ⇒ granulometrijski sastav agregata
 - ⇒ uslovi sredine (temperatura i vlažnost)
 - ⇒ način ugrađivanja i njege
 - ⇒ dimenzije betonskih elementa i dr.

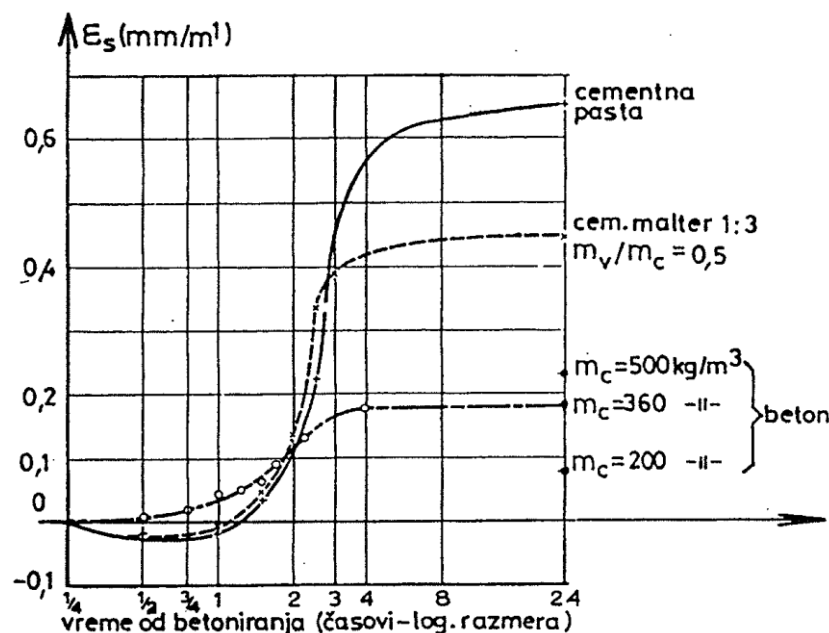
Reološke osobine očvrslog betona



● Skupljanje betona

⇒ Tri komponente skupljanja su:

- skupljanje usljed kontrakcije produkata hidratacije (hidrataciono skupljanje)
- skupljanje usljed isparavanja vode tokom perioda vezivanja cementa (plastično skupljanje)
- skupljanje nakon završetka procesa vezivanja (hidraulično skupljanje)

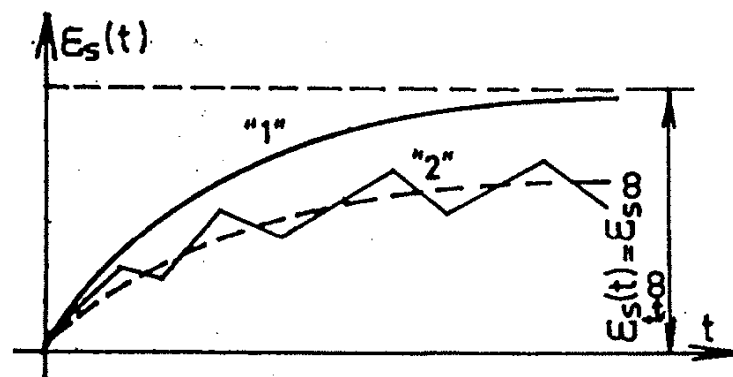
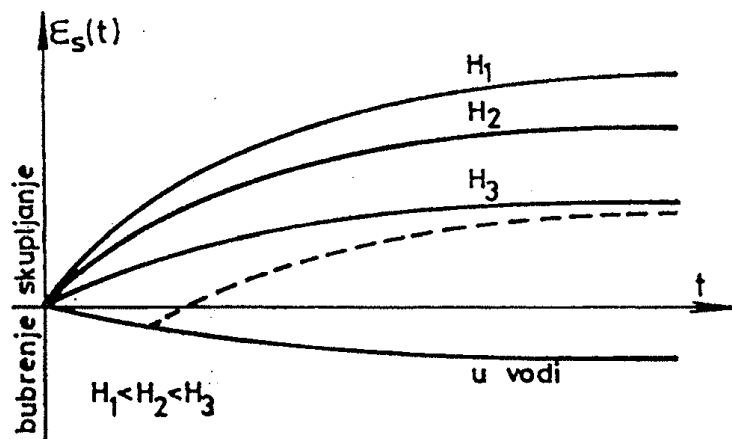


Plastično skupljanje

Reološke osobine očvrslog betona



- Plastično skupljanje
 - nije od značaja za naponska stanja konstrukcije
- Hidrataciono i hidrauličko skupljanje (zbirni efekt)
 - utiču na naponska i deformaciona stanja konstrukcija
- Hidrauličko skupljanje se odvija dok se ne uspostavi ravnoteža između vlažnosti sredine i vlažnosti betona
- Vlažnost betona je funkcija hidratacije cementa, F (kapilarne poroznosti)
- kriva "1" kondicionirani termohigrometrijski uslovi
- kriva "2" spoljašnja sredina



Reološke osobine očvrslog betona



⇒ Vrste skupljanja

- ⇒ Plastično skupljanje
- ⇒ Hemijsko skupljanje
- ⇒ Autogeno skupljanje
- ⇒ Skupljanje uslijed sušenja
- ⇒ Termičko (temperaturno) skupljanje
- ⇒ Skupljanje uslijed karbonizacije

Reološke osobine očvrslog betona



⇒ Plastično skupljanje

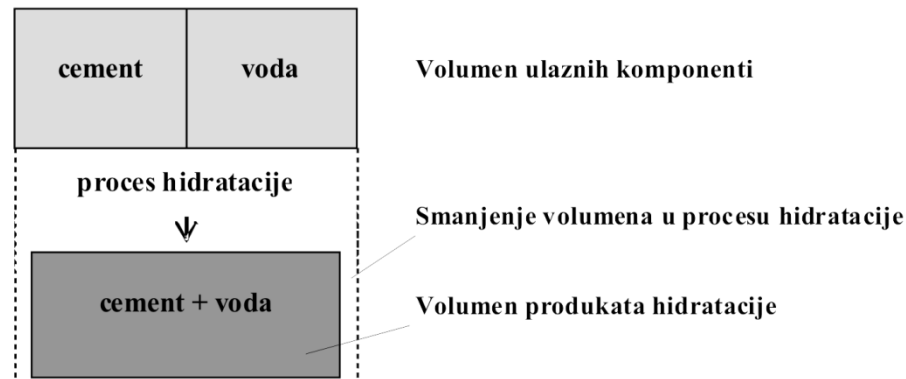
- ⇒ posljedica je isparavanja vode s površine svježeg betona
- ⇒ Najveće je u usporedbi s ostalim vrstama skupljanja
- ⇒ Događa se u prvih nekoliko sati
- ⇒ Javlja se kada uslijed isparavanja vode dođe do zgrušavanja mješavine i do zbližavanja čestica sadržanih u svježem betonu
- ⇒ Štetni uticaji ove vrste skupljanja mogu se relativno lako izbjeći pravilnom i intenzivnom njegom betona

Reološke osobine očvrslog betona



⇒ Hemijsko skupljanje

- ⇒ Smanjenje volumena cementne paste, javlja se zbog hemijskog vezanja vode u procesu hidratacije cementa
- ⇒ Razlog smanjenja volumena cementne paste je veća gustoća hemijski vezane vode
- ⇒ Pore nastale uslijed hemijskog skupljanja imaju značajnu ulogu u autogenom skupljanju

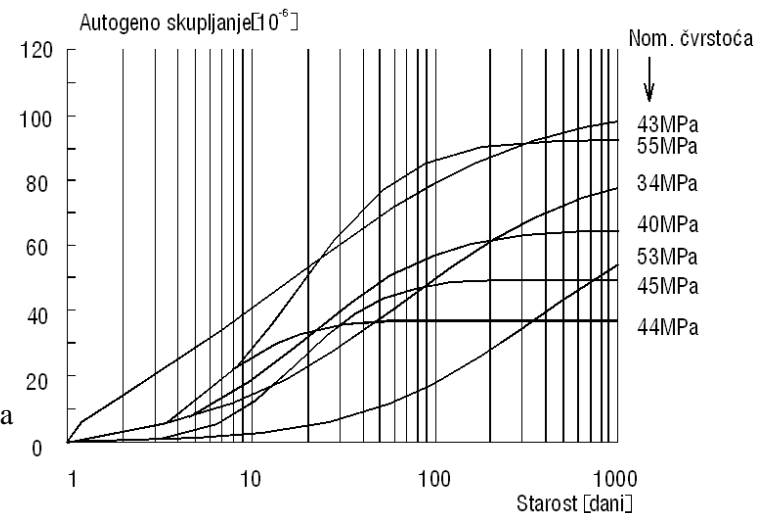
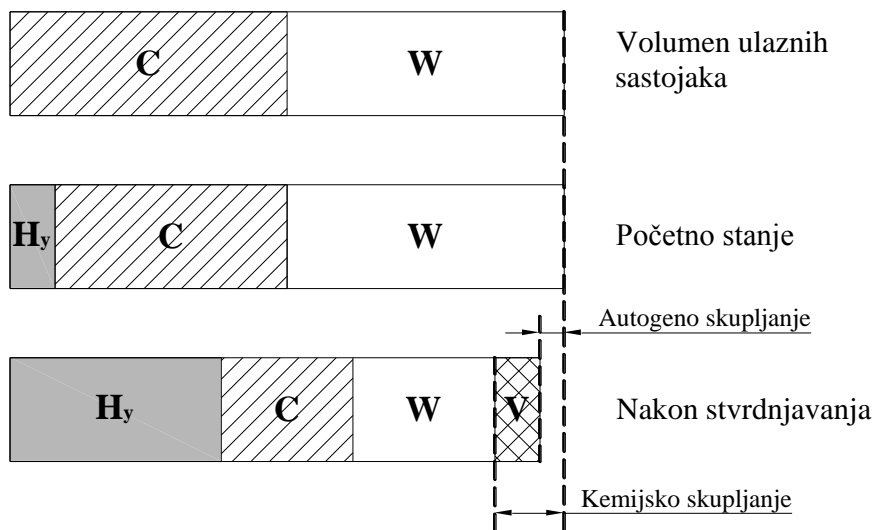


Reološke osobine očvrslog betona



⇒ Autogeno skupljanje

- ⇒ Naziva se i hidratacijsko skupljanje
- ⇒ Posljedica je samoisušivanja u porama cementnog kamena zbog uporabe vode u procesu hidratacije cementa
- ⇒ U porama od hemijskog skupljanja počinje samoisušivanje zbog procesa hidratizacije, vlaga ne može dovoljno brzo dolaziti izvana i počinje skupljanje

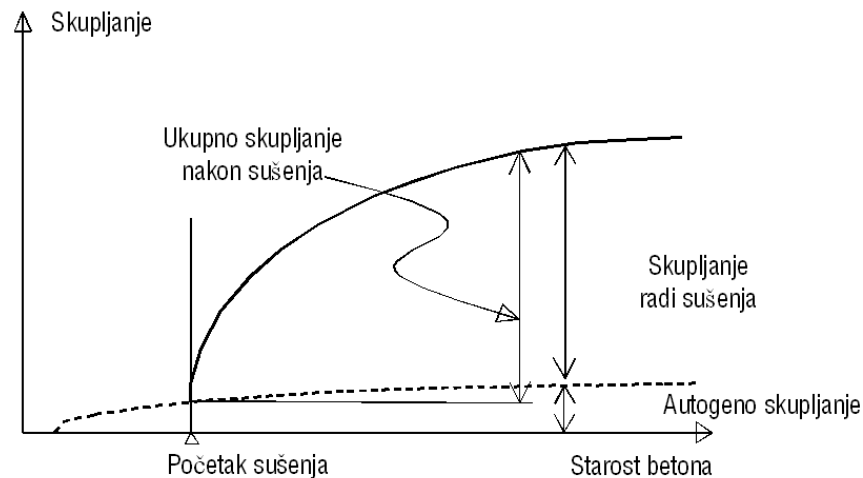


Reološke osobine očvrslog betona



⇒ Skupljanje uslijed sušenja

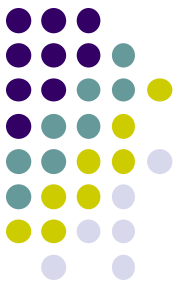
- ⇒ ova vrsta skupljanja se očituje od površine prema unutrašnjosti betonske mase
- ⇒ odnosi se na smanjenje volumena betona zbog gubitka vode iz betona
- ⇒ Parametri koji najviše utječu na tu vrstu skupljanja:
 - ⇒ debljina elementa
 - ⇒ poroznost ili količina slobodne vode u betonu
 - ⇒ volumen paste
 - ⇒ finoća veziva
 - ⇒ temperatura i relativna vlažnost



Reološke osobine očvrslog betona

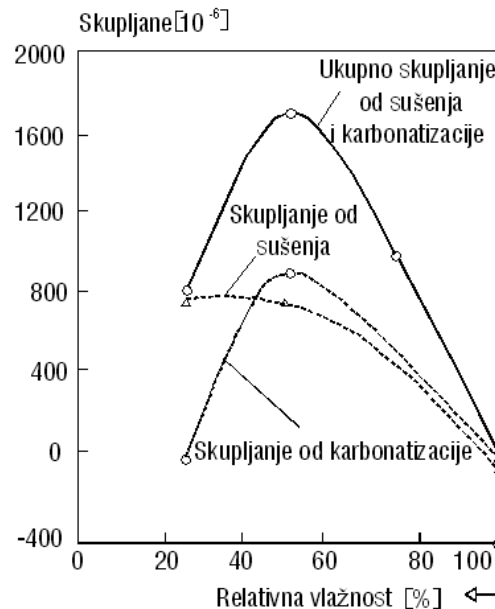


- ⇒ Termičko (temperaturno) skupljanje
 - ⇒ javlja se rano zbog promjene temperature uslijed procesa hidratacije
 - ⇒ Pri reakciji cementa i vode oslobađa se toplota, što uzrokuje temperaturno širenje, a kasnije dolazi do hlađenja zbog čega se javlja skupljanje
 - ⇒ Opasno kod elemenata većeg poprečnog presjeka (>50 cm)



Reološke osobine očvrslog betona

- ⇒ Skupljanje uslijed karbonatizacije
 - ⇒ Događa se u očvrslom betonu djelovanjem CO_2
 - ⇒ CO_2 s vodom tvori ugljičnu kiselinu koja reagira s $\text{Ca}(\text{OH})_2$ stvarajući CaCO_3
 - ⇒ optimalni uslovi za karbonizaciju su djelomično vlažnom betonu

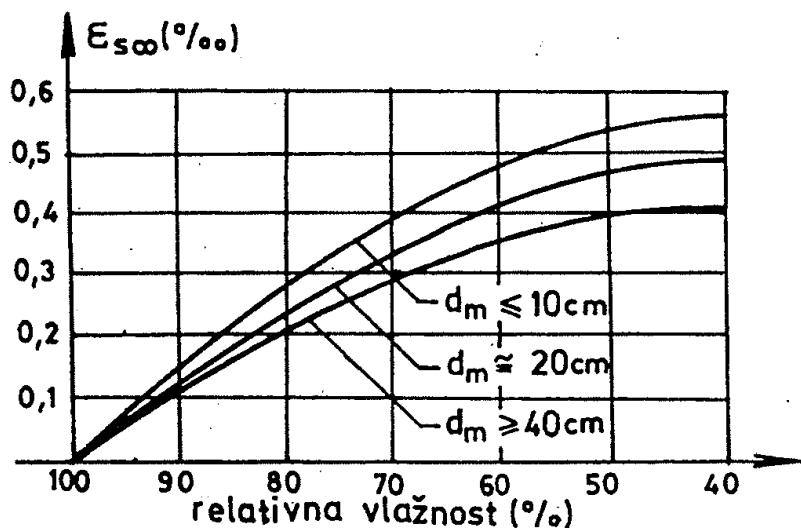


Reološke osobine očvrslog betona

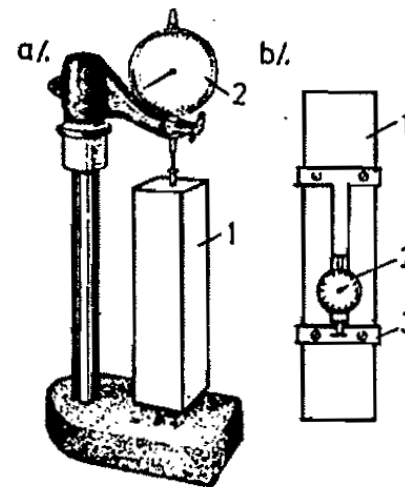


● Skupljanje betona

- ⇒ komparateri, deformetri, ekstenzometri
- ⇒ **JUS U.M1.029**: $2 \leq h/a \leq 4$, $a \geq 4D$ (3 uzorka)
- ⇒ 24h, $T = 20^\circ\text{C}$, $RH = 90\%$ (u kalupima)
- ⇒ 48h u pijaćoj vodi, $T = 20^\circ\text{C}$
- ⇒ nakon 72h vade se iz vode i izlažu termohigrometrijskim uslovima ($T = 20^\circ\text{C}$, $RH = 40, 70$ ili 90%)
- ⇒ nulto očitavanje 72h
- ⇒ mjerenja nakon 4, 7, narednih 7 dana, ne manje od 3 mjeseca



$$d_m = \frac{2A_b}{O_b}$$



Reološke osobine očvrslog betona



- Skupljanje betona

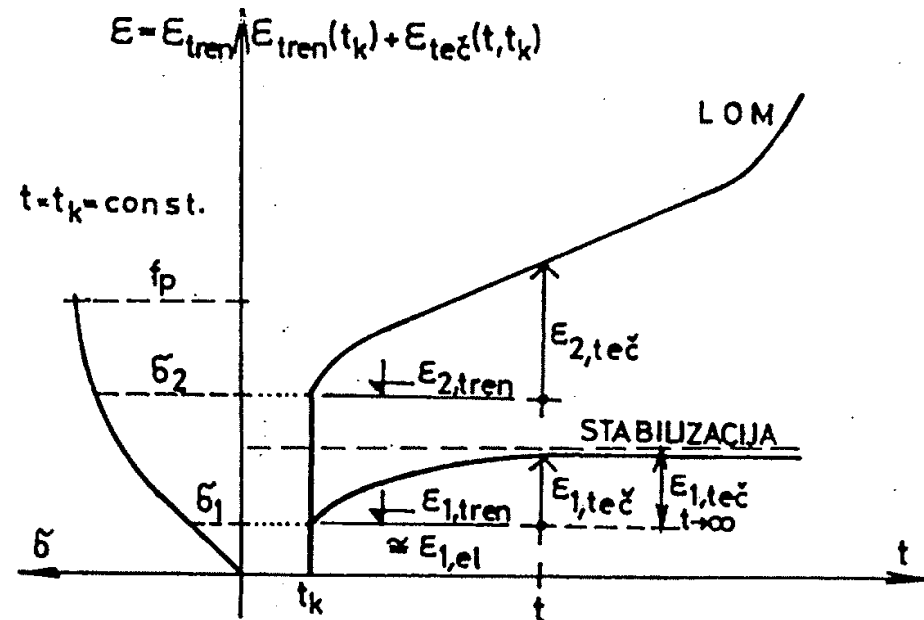
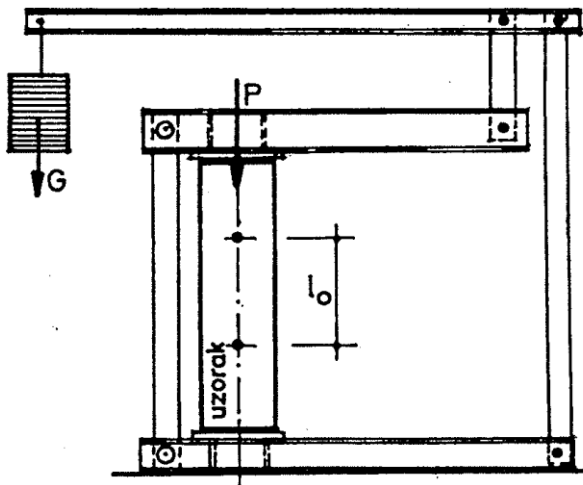
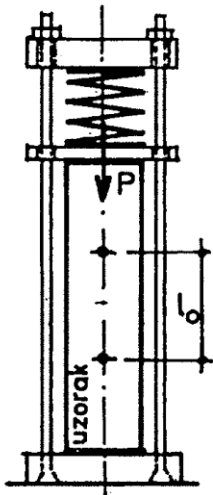
Relativna vlažnost sredine (%)	Srednja debljina presjeka elementa d_m (cm)	Zavisnost skupljanja betona od vremena $\varepsilon_b(t)/\varepsilon_b^\infty$					
		Vrijeme t poslije prestanka njegovanja betona (dani/godine)					
		7	14	28	90	365	3 g.
40%	≤10	0,20	0,28	0,38	0,60	0,85	0,95
	20	0,10	0,15	0,23	0,40	0,68	0,88
	≥40	0,05	0,07	0,10	0,20	0,45	0,73
70%	≤10	0,16	0,23	0,30	0,50	0,75	0,90
	20	0,08	0,13	0,18	0,30	0,58	0,83
	≥40	0,03	0,05	0,08	0,15	0,35	0,63

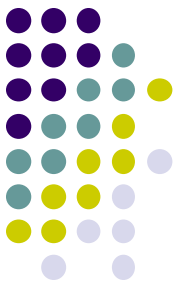
Reološke osobine očvrslog betona



● Tečenje betona

- ⇒ uređaji na principu opruge ili na principu poluge
- ⇒ Dva karakteristična slučaja:
 - ⇒ stabilizacija procesa tečenja (mali naponi-radni naponi, deformacije teže nekoj konačnoj vrijednosti)
 - ⇒ ne dolazi do stabilizacije procesa (veliki naponi-20-30% manji od čvrstoće pri kratkotrajnom opterećenju, lom uzorka)





Reološke osobine očvrslog betona

● Linearno tečenje betona

⇒ **JUS U.M1.027:** $(0,3-0,5)f_p$ linearno tečenje

⇒ 9 uzorka:

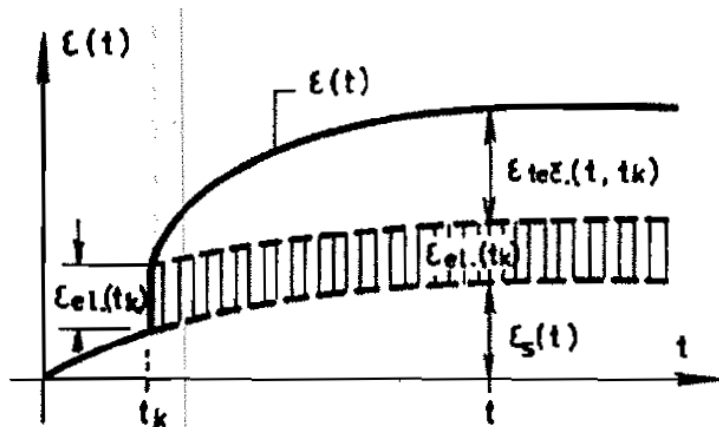
⇒ 3 uzorka za mjerenje skupljanja $\varepsilon_s(t)$ (“a”)

⇒ 3 uzorka za određivanje f_p (“b”)

⇒ 3 uzorka za mjerenje ukupnih deformacija $\varepsilon(t)$ pod konstantnim naponom σ_k (“c”)

⇒ nulto očitavanje 72h (“a” i “c”), a zatim nakon 4, 7, narednih 7 dana, ne manje od 3 mjeseca

⇒ u vremenu t_k (“b”), konstantan napon $\sigma_k \leq f_p/3$



$$\varepsilon_{teč}(t, t_k) = \varepsilon(t) - \varepsilon_s(t) - \varepsilon_{el}(t_k)$$

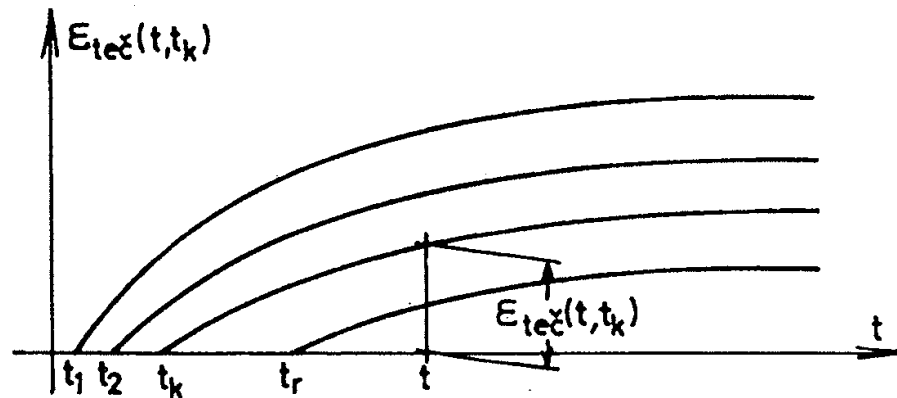
$$\varphi(t, t_k) = \frac{\varepsilon_{teč}(t, t_k)}{\varepsilon_{el}(t_k)}$$



Reološke osobine očvrslog betona

- Linearno tečenje betona

⇒ “mlađi” betoni imaju veće deformacije tečenja



⇒ PBAB 87: cca $T=20^{\circ}\text{C}$

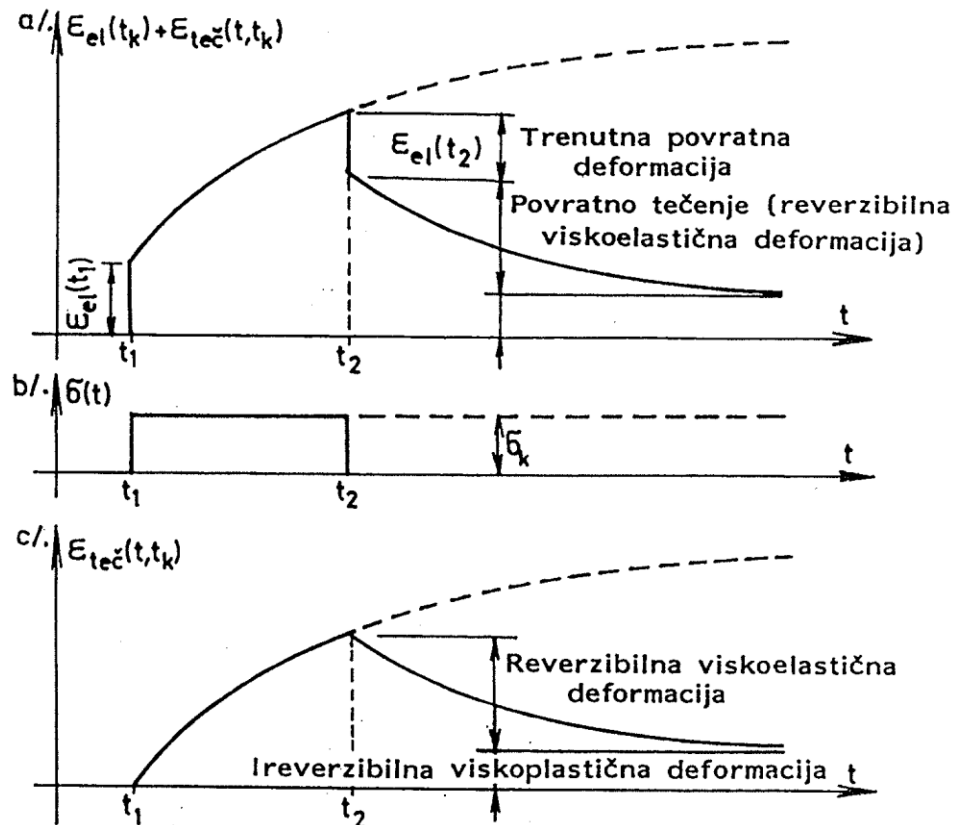
Starost betona u trenutku opterećenja t_k (dani)	Odnosi koeficijenata tečenja betona u trenutku vremena t i konačne vrijednosti koeficijenata tečenja $\varphi(t, t_k)/\varphi_{\infty}$					
	Trajanje opterećenja $(t-t_k)$ (dani/godine)					
	7	14	28	90	365	3 g.
7	0,25	0,30	0,38	0,53	0,73	0,85
28 do 90	0,15	0,23	0,30	0,48	0,68	0,83
365	0,10	0,18	0,25	0,43	0,56	0,80

Reološke osobine očvrslog betona



● Linearno tečenje betona

- ⇒ Trenutna povratna deformacija $\varepsilon_{el}(t_{k2})$ $\varepsilon_{el}(t_{k1}) = \frac{\sigma_k}{E(t_{k1})}$, a $\varepsilon_{el}(t_{k2}) = \frac{\sigma_k}{E(t_{k2})}$, $\varepsilon_{el}(t_{k1}) > \varepsilon_{el}(t_{k2})$
- ⇒ Tzv. povratno tečenje betona-reverzibilna viskoelastična deformacija
- ⇒ Ireverzibilna viskoplastična deformacija





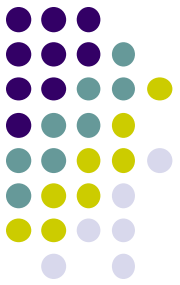
Reološke osobine očvrslog betona

- Linearno tečenje betona

⇒ PBAB 87: cca $T=20^{\circ}\text{C}$

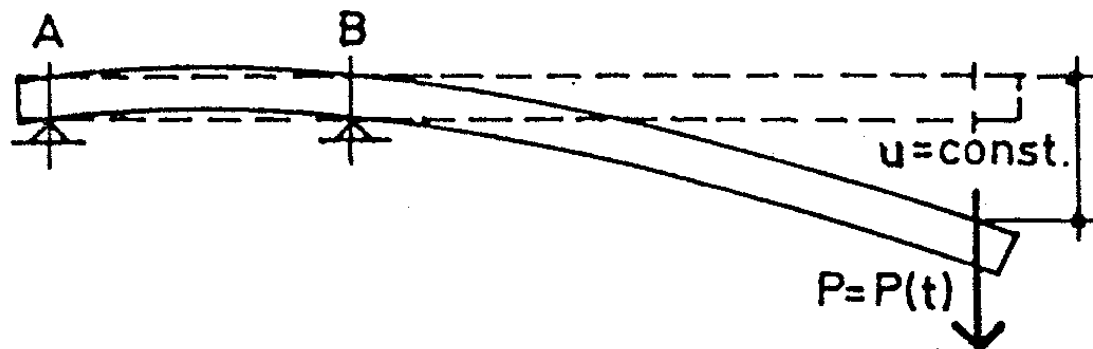
Starost betona u trenutku opterećenja t_k (dani/godine)	Srednja debljina presjeka elementa d_m (cm)	Konačne vrijednosti tečenja nearmiranog betona ϕ_{∞}			
		Relativna vlažnost sredine (%)			
		40%	70%	90%	u vodi
	≤10	4,3	3,1	1,7	
7	20	4,1	2,9	1,6	1,4
	≥40	3,8	2,7	1,6	
14	≤10	4,0	2,9	1,6	1,3
	20	3,8	2,7	1,5	
	≥40	3,6	2,5	1,5	
28	≤10	3,7	2,6	1,6	1,3
	20	3,6	2,6	1,5	
	≥40	3,4	2,5	1,4	
90	≤10	2,7	2,0	1,3	1,2
	20	2,8	2,1	1,3	
	≥40	2,9	2,1	1,3	
365	≤10	1,7	1,3	1,0	1,0
	20	1,8	1,4	1,1	
	≥40	2,0	1,5	1,1	
3 godine	≤10	0,9	0,8	0,7	0,8
	20	1,1	0,9	0,8	
	≥40	1,2	1,0	0,8	

Reološke osobine očvrslog betona



● Relaksacija napona

- ⇒ Osnovni postulat: **konstantna deformacija** ($u = \text{const.}$)
- ⇒ betonski, AB, prenapregnuti nosač sa prepustima (savijanje)
- ⇒ regulišemo silu $P = P(t)$, određujemo napone kod oslonca neposredno uz prepust (B)
- ⇒ Zavisí od:
 - ⇒ početnog napona σ_0
 - ⇒ starosti betona u vrijeme apliciranja napona σ_0
 - ⇒ temperature i relativne vlažnosti sredine
 - ⇒ sastava betona



Reološke osobine očvrslog betona

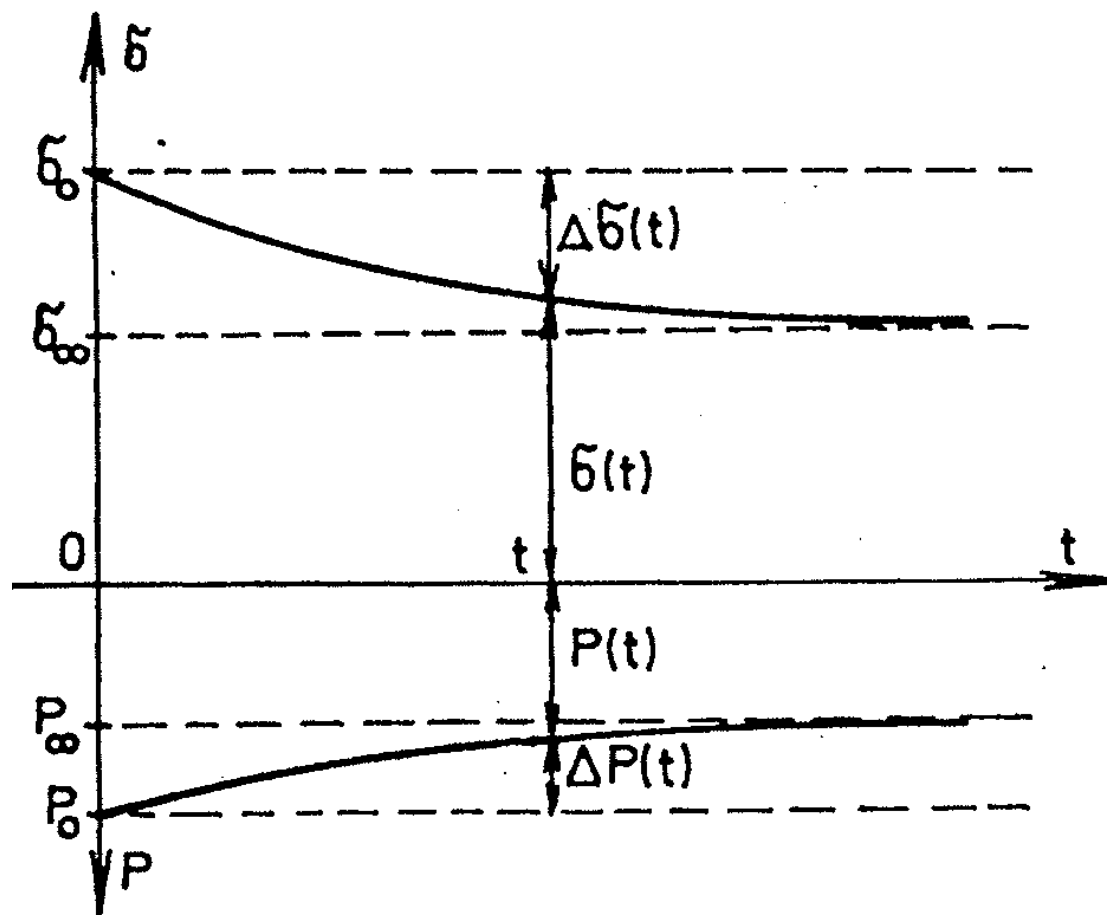


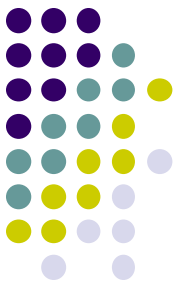
● Relaksacija napona

$$r(t) = \frac{\Delta\sigma(t)}{\sigma_0} \cdot 100 = k \frac{\Delta P(t)}{P_0} \cdot 100\%$$

⇒ $\kappa=1,0$ ("čist" beton)

⇒ $\kappa < 1,0$ (armirani beton)



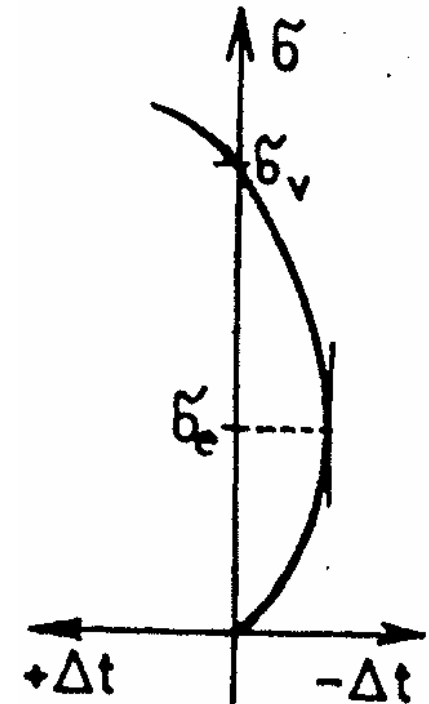
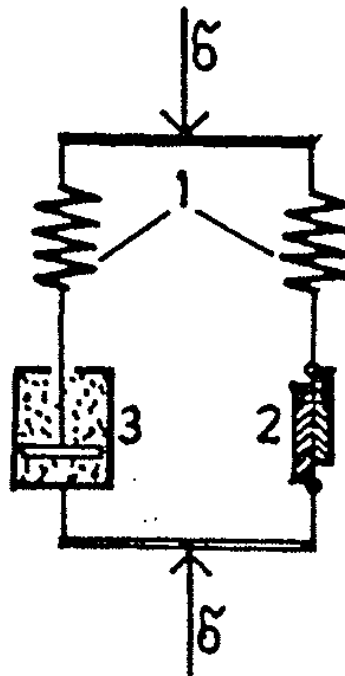


Reološke osobine očvrslog betona

● Reološki model betona

- ⇒ Deformacije: elastične, plastične i viskozne
- ⇒ Brzina prolaza ultrazvučnih talasa (skraćenje vremena prolaza ultrazvuka)
- ⇒ σ_e (granica elastičnog ponašanja)
- ⇒ σ_v (gornja granica plastičnih deformacija, max. vrijednost Poasonovog koeficijenta 0,5)

- ⇒ (1) elastični elementi
- ⇒ (2) opterećenje od trenja
- ⇒ (3) viskozni element



Slijedeće predavanje:



PROJEKTOVANJE SASTAVA BETONA