

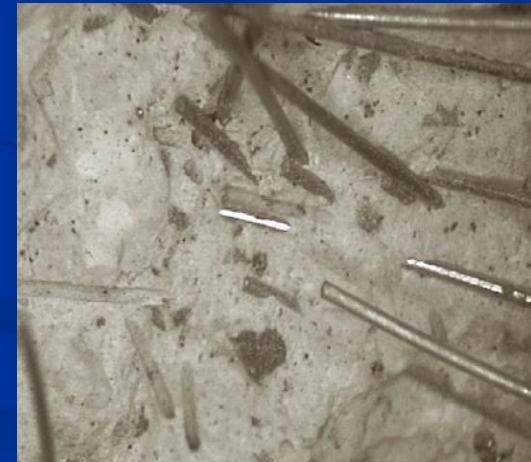
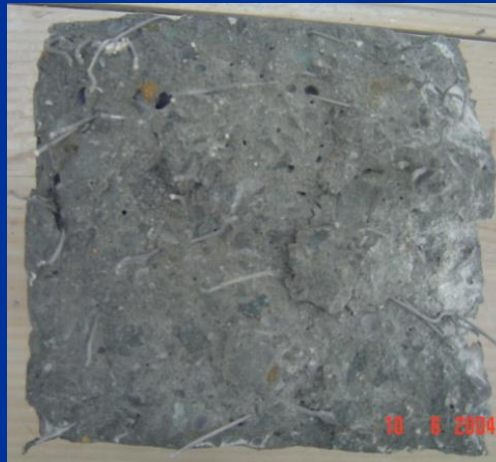
MIKROARMIRANI BETON

- **MIKROARMIRANI BETON** – vrsta betona kojem se u procesu miješanja pored uobičajenih sastojaka betona dodaju i diskontinuirana vlakna, velike vlačne čvrstoće



- **Vrste vlakana:**

- Čelična
- Polimerna
- Staklena
- Prirodna



VRSTE VLAKANA ZA MIKROARMIRANJE

VRSTA VLAKNA	VLAČNA ČVRSTOĆA (MPa)	MODUL ELASTIČNOSTI (GPa)	PRODULJENJE PRI PREKIDU (%)	GUSTOĆA (kg/dm ³)
Akrlino	207-1000	13.8-19.3	7.5-50	1.1
Aramidno	2340-3620	62-117	2.5-4.4	1.44
Azbestno	552-966	84.2	0.6	3.2
Pamučno	414-960	4.8	3-10	1.5
Stakleno	1035-3795	68.9-80	1.5-3.5	2.5
Grafitno	1310-2620	230-415	0.5-1.0	1.9
Karbonsko	1792-2620	230-380	0.5-1.5	1.9
Najlonsko	799-970	4.1-5.1	16-20	1.1
Poliestersko	228-1172	8.3-17.3	11-150	1.4
Polipropilensko	140-759	3.5 - 4.8	15-25	0.9
Polietilensko	200-3000	5-172	3-80	0.92 - 0.96
Rajonsko	414-621	6.9	10-25	1.5
Sisal	800	-	3	1.5
Kamena vuna	480-760	69-117	0.5-0.7	2.7
Čelično	276-2760	210	0.5-3.5	7.8
Cementna matrica	2-4	30	0.35	2.35

SVOJSTVA VLAKANA

- Koeficijent oblika vlakna – omjer duljine i promjera vlakna
- Vlakna se doziraju težinski (npr. 40 kg/m³) ili volumno (npr. 0.5 vol.%)



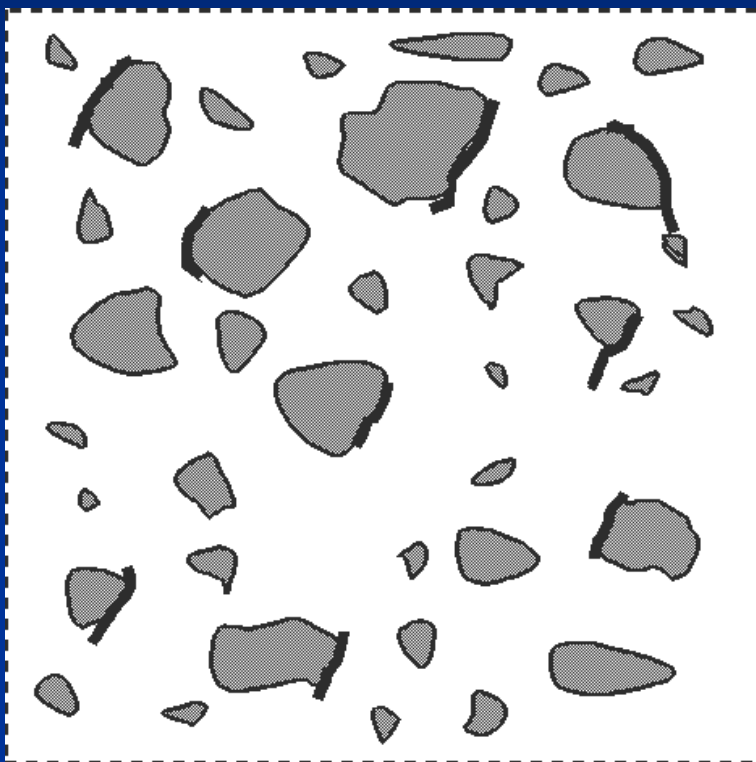
DJELOVANJE VLAKANA U MIKROARMIRANOM BETONU



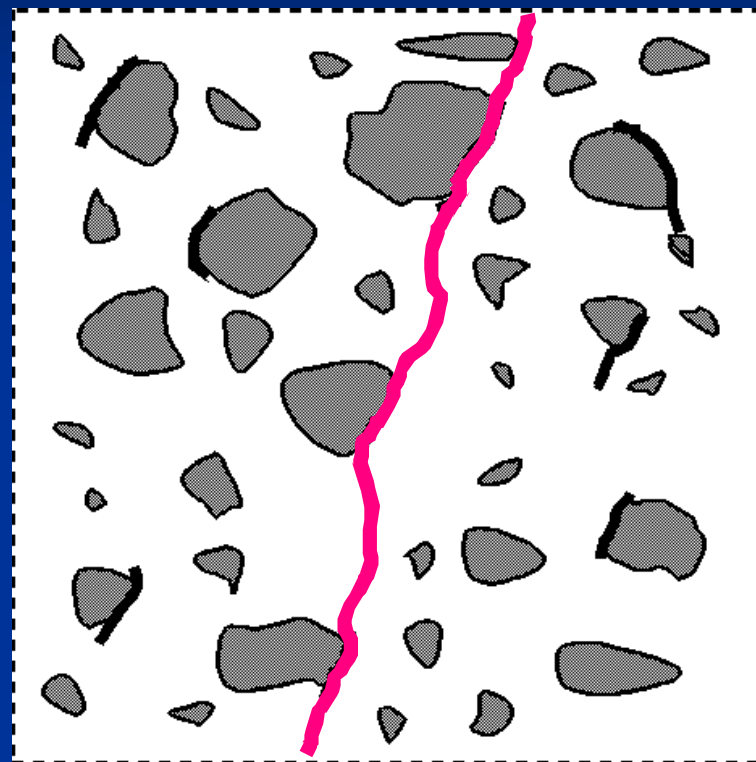
Nakon stvaranja pukotine u betonu, vlakno mora biti u stanju prenijeti naprezanja s raspucanog presjeka na neraspucani dio. Pritom je bitno da je vlakno na kvalitetan način usidreno u betonsku matricu, da se naprezanja mogu prenijeti.

Prijenos naprezanja s matrice na vlakna vrši se posmičnim silama na sučeljku između vlakna i matrice.

UTJECAJ VLAKANA NA RASPUCAVANJE



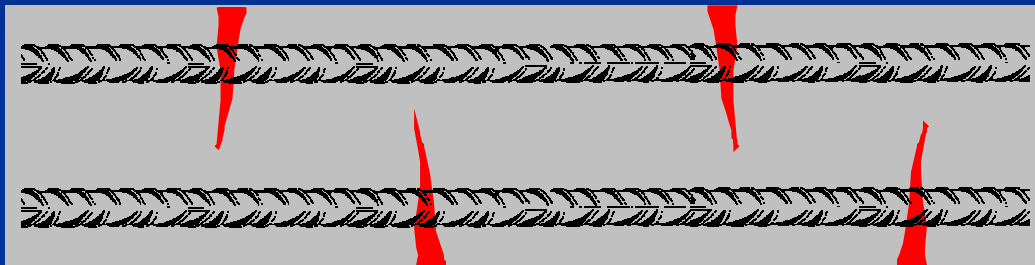
➤ Mikropukotine u
betonu



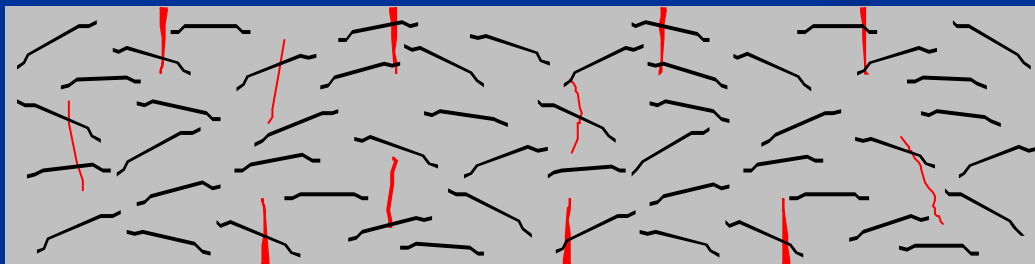
➤ Makropukotine

UTJECAJ VLAKANA NA RASPUCAVANJE

Maksimalno dozvoljena širina pukotine

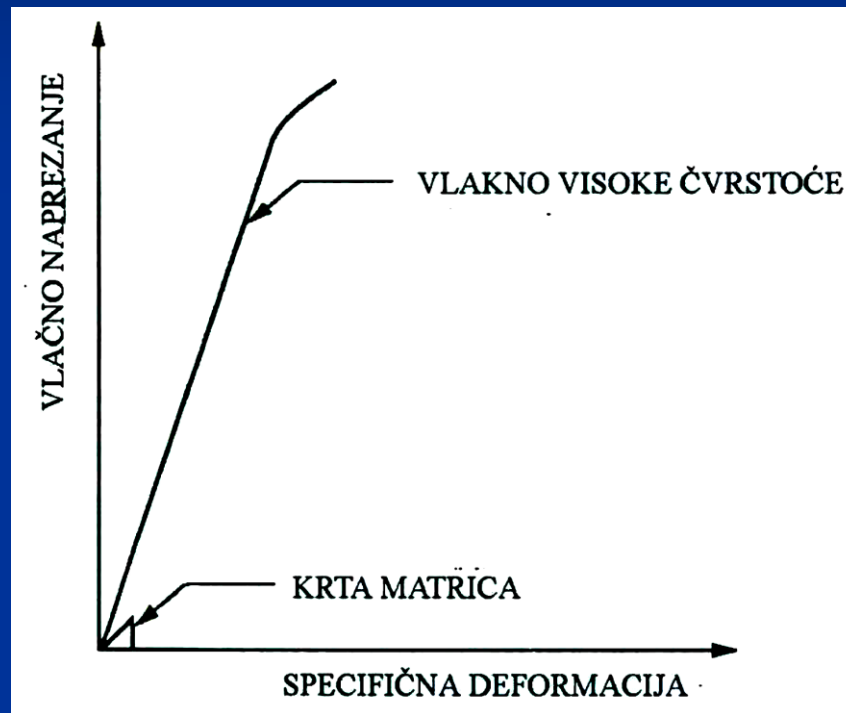


**Armirani
beton**



**Mikroarmiran
beton**

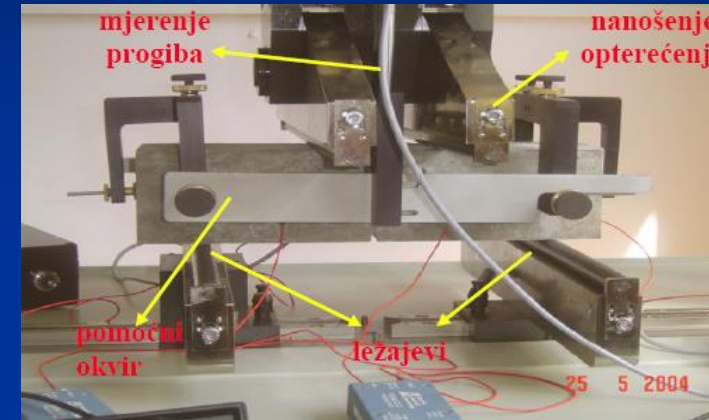
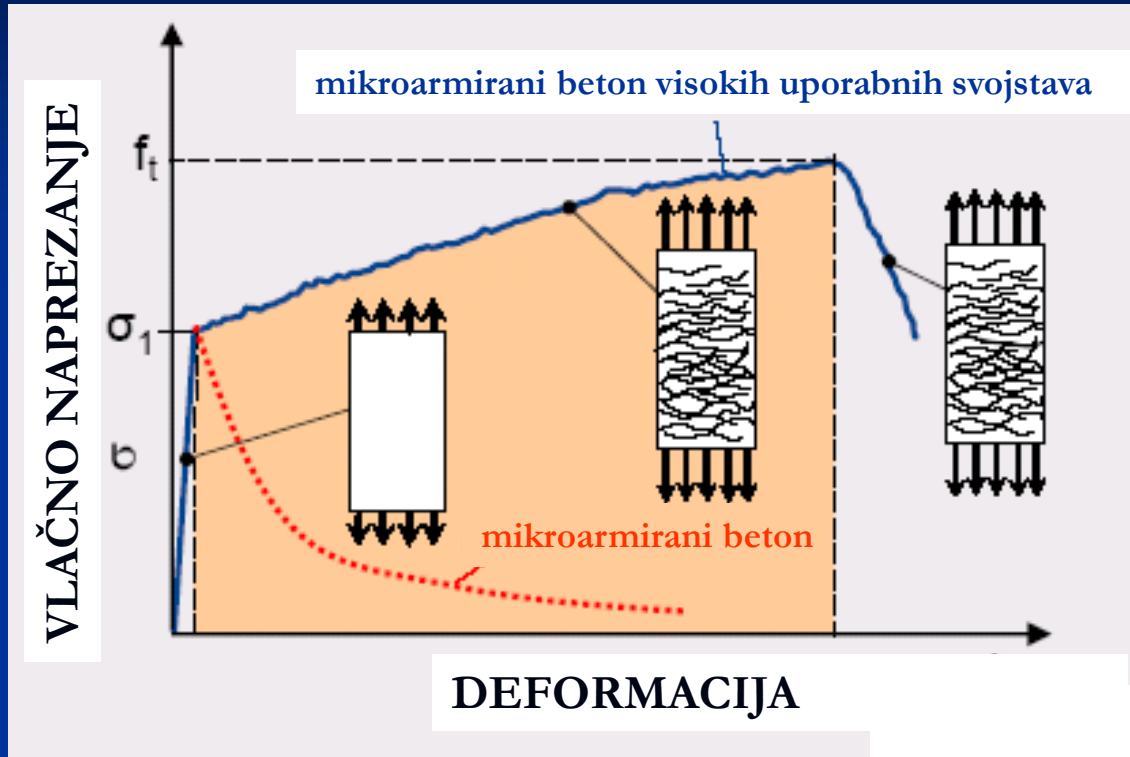
KARAKTERISTIČNI OBLICI DIJAGRAMA DOBIVENIH PRI VLAČNOM ISPITIVANJU



Glavni razlog dodatka vlakana u krtu, betonsku matricu jest poboljšanje ponašanja u postpukotinskom stanju i povećanje duktilnosti.

Nakon raspucavanja betonske matrice ponašanje mikroarmiranog betona ovisi o vrsti, količini i orijentaciji vlakana, prionljivosti vlakana i betona, te kvaliteti betona.

KARAKTERISTIČNI OBLICI DIJAGRAMA



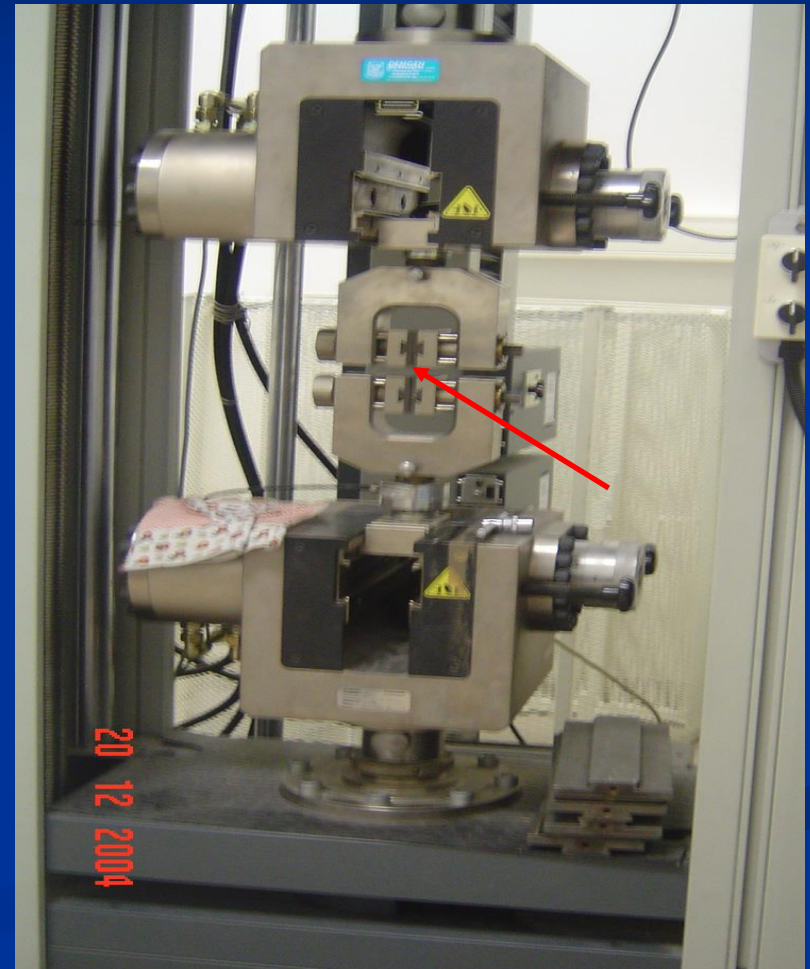
Ako mikroarmirani beton nakon pojave prve pukotine, pri ispitivanju na savojno opterećenje, može preuzeti još veće opterećenje tada on posjeduje svojstvo deformacijskog očvršćavanja.

To je moguće samo kod mikroarmiranih betona s većom količinom vlakana u sastavu.



SVOJSTVA ČELIČNIH VLAKANA

- **Vlačna čvrstoća:**
250 – 2800 MPa
- **Modul elastičnosti:**
210 GPa
- **Produljenje pri prekidu:**
0.5 – 3.5 %
- **Gustoća:**
7.8 kg/dm³
- **Minimalno doziranje: 20 kg/m³**

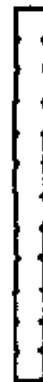


VRSTE ČELIČNIH VLAKANA

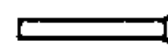
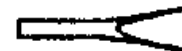
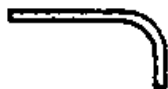
Poprečni
presjek



Obrada
površine



Krajevi
vlakana



SVOJSTVA VLAKANA

POLIPROPILENSKA VLAKNA

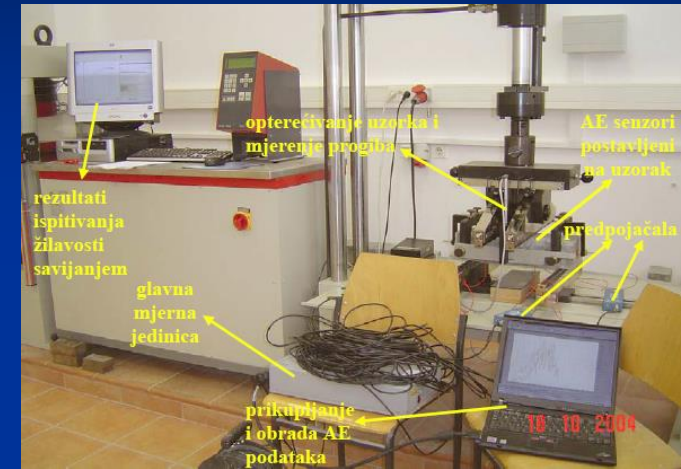
- **Vlačna čvrstoća:**
300 - 700 MPa
- **Modul elastičnosti:**
3.5 - 5 GPa
- **Produljenje pri prekidu:**
15 - 25 %
- **Gustoća:**
0.9 kg/dm³
- **Minimalno doziranje: 0.9 kg/m³**

STAKLENA VLAKNA

- **Vlačna čvrstoća:**
1500 - 4000 MPa
- **Modul elastičnosti:**
70 - 80 GPa
- **Produljenje pri prekidu:**
1.5 – 3.5 %
- **Gustoća:**
2.5 kg/dm³
- **Minimalno doziranje: 0.9 kg/m³**

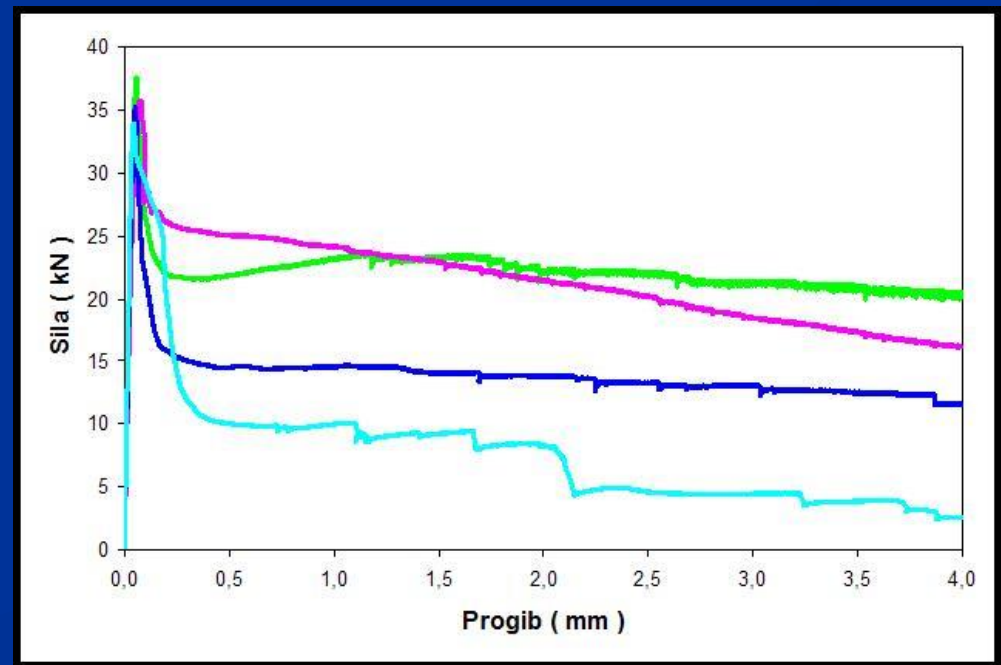
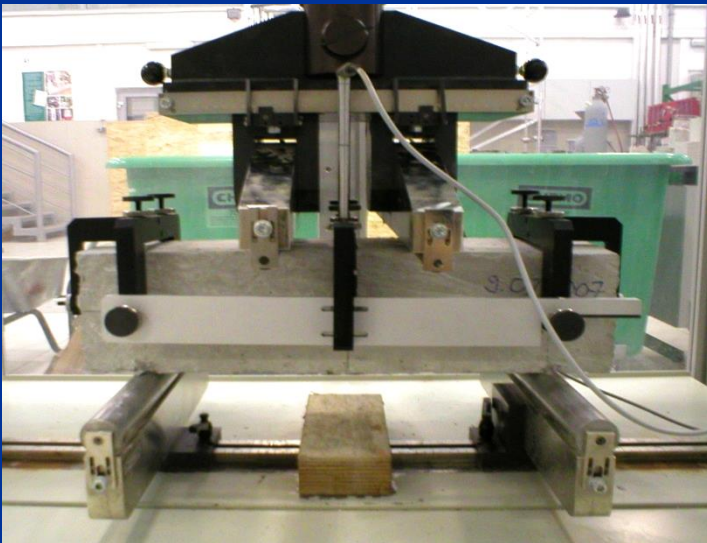
ISPITIVANJE SVOJSTAVA

- Za mehanička i trajnosna svojstva koja su primarno ovisna o svojstvima matrice mogu se koristiti postupci ispitivanja kao za obični beton
 - tlačna i savojna čvrstoća, modul elastičnosti, VDP, čvrstoća cijepanjem, skupljanje, puzanje, otpornost na mraz itd.
- Svojstva koja su poboljšana uslijed dodavanja vlakana zahtijevaju i posebne metode ispitivanja
 - žilavost, otpornost na udar, otpornost na pojavu i širenje pukotina itd.



ISPITIVANJE SVOJSTAVA

- Prethodnim ispitivanjem mikroarmiranog betona na razini materijala potrebno je dobiti parametre za statički proračun konstrukcije



Austrijske preporuke za mikroarmirani beton

Richtlinie Faserbeton

- Ekvivalentna vrijednost vlačne čvrstoće pri savijanju za dokaz uporabivosti definira se kao:

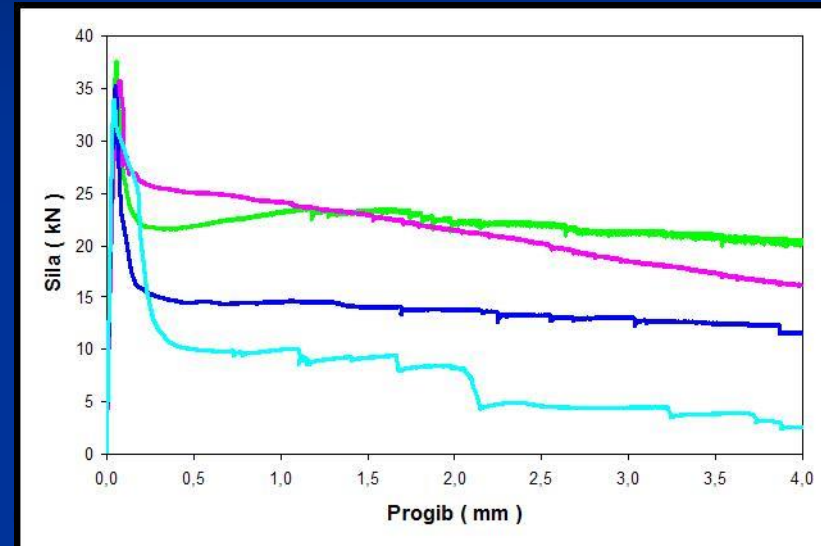
$$f_{eqms} = \frac{P_{0.5} \times l}{b \times h^2} = \frac{P_{0.5}}{7500} [\text{MPa}]$$

gdje je

l = raspon ležajeva (mm),

b, h = dimenzije poprečnog presjeka uzorka (mm),

$P_{0.5 \text{ mm}}$ = nosivost kod ispitivanja žilavosti pri progibu od 0.5 mm (N).



Austrijske preporuke za mikroarmirani beton

Richtlinie Faserbeton

- Ekvivalentna vrijednost vlačne čvrstoće pri savijanju za dokaz nosivosti dobiva se izrazom:

$$f_{eqmu} = \frac{P_{0.5-3} \times l}{b \times h^2} = \frac{P_{0.5-3}}{7500} [\text{MPa}]$$

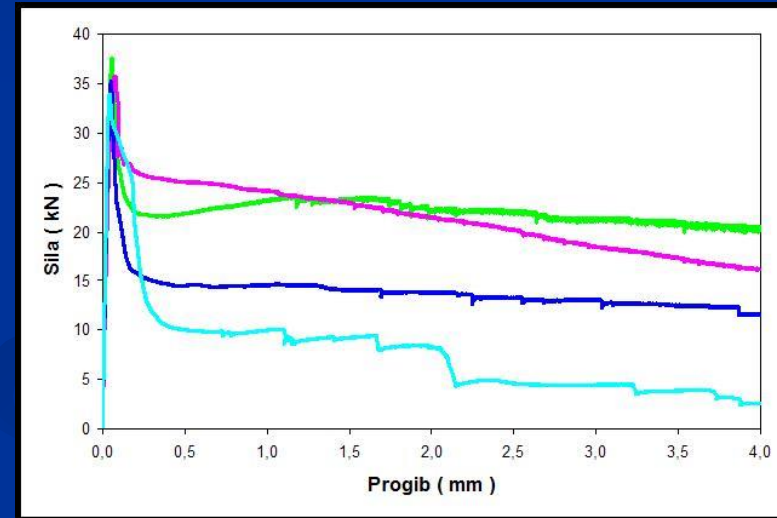
gdje je

l = raspon ležajeva (mm),

b, h = dimenzije poprečnog presjeka uzorka (mm),

$P_{0.5-3 \text{ mm}}$ = rad između progiba od 0.5 mm i 3 mm tj. površina ispod krivulje žilavosti između ta dva progiba, a računa se kao:

$$P_{0.5-3} = \frac{A_{0.5-3}}{1/180} = \frac{A_{0.5-3}}{2.5} [\text{N}]$$

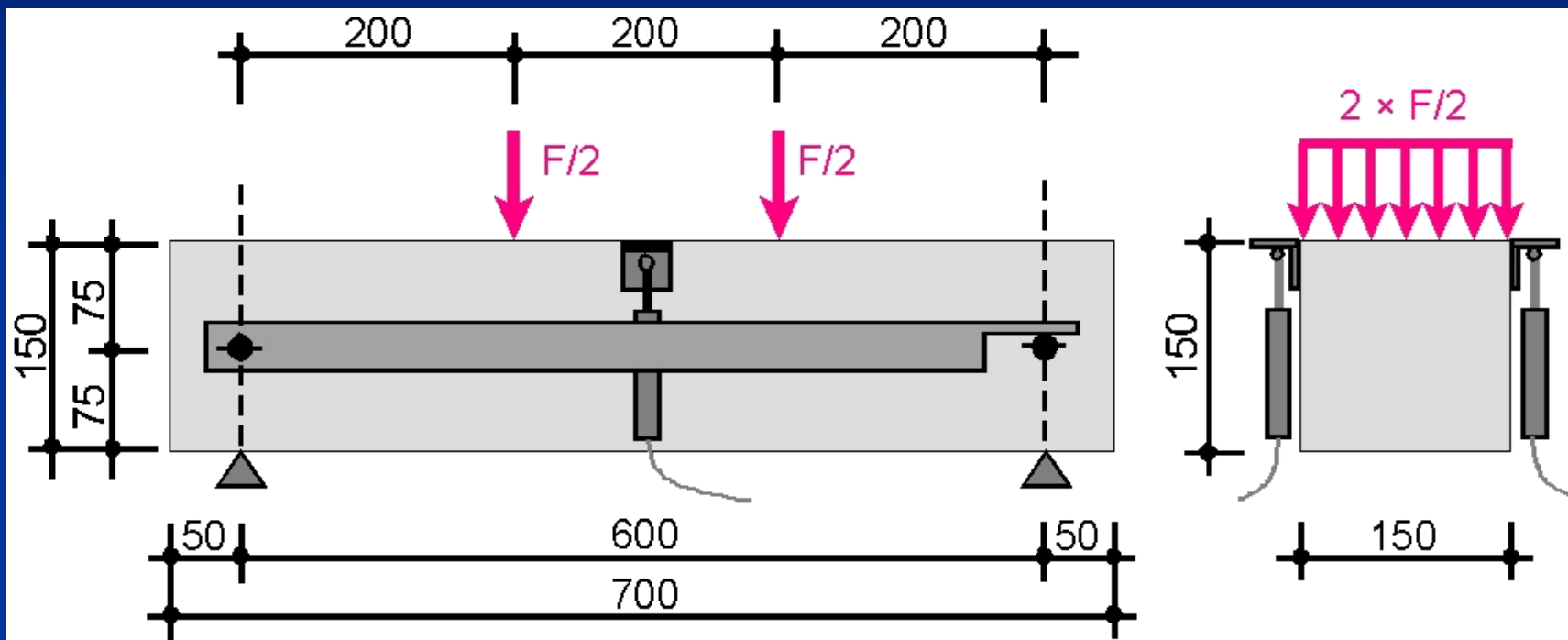


Austrijske preporuke za mikroarmirani beton

Richtlinie Faserbeton

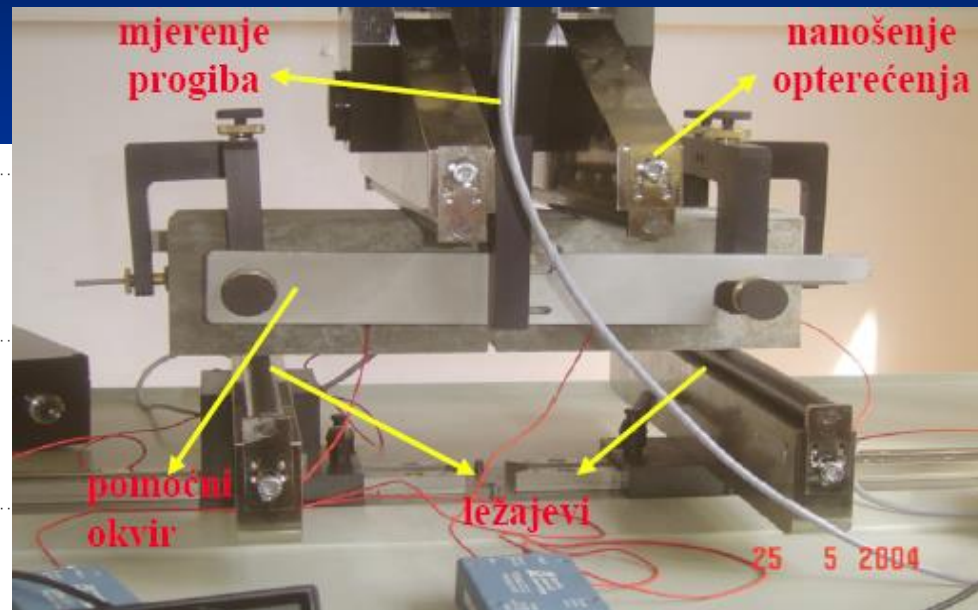
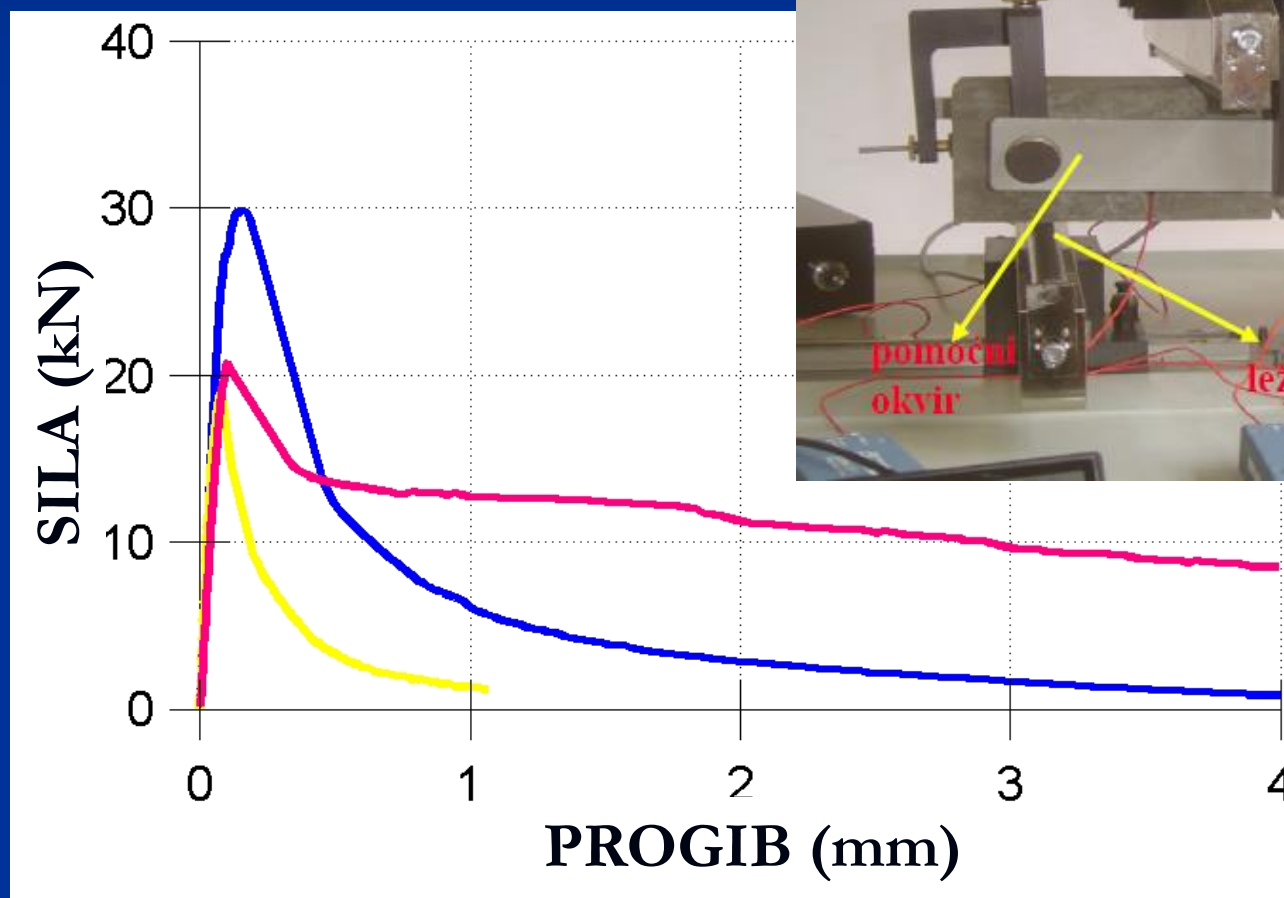
Razredi	Minimalne vrijednosti za srednje ekvivalentne vlačne čvrstoće pri savijanju (N/mm ²)		Razredi
	f_{eqmu}	f_{eqms}	
Posebni razred T	5.00	5.00	Posebni razredi TG
T5	3.50	3.75	TG5
T4	2.75	3.10	TG4
T3	2.50	2.40	TG3
T2	1.25	1.70	TG2
T1	0.50	0.75	TG1

ISPITIVANJE ŽILAVOSTI SAVIJANJEM NA UZORCIMA BEZ POČETNOG ZAREZA



Betonski uzorci su prizme 150x150x700 mm bez početnog zareza

ISPITIVANJE ŽILAVOSTI SAVIJANJEM NA UZORCIMA BEZ POČETNOG ZAREZA

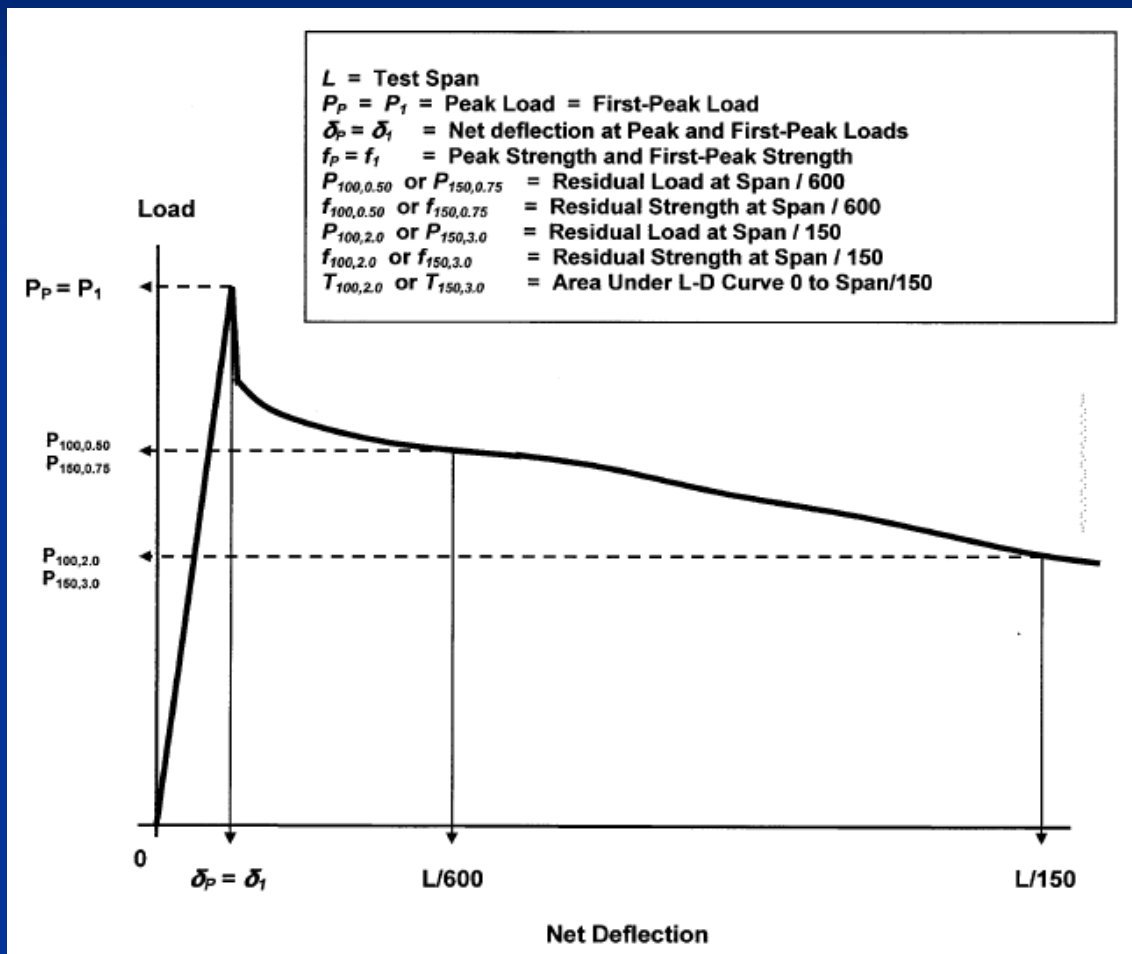


ISPITIVANJE ŽILAVOSTI SAVIJANJEM NA UZORCIMA BEZ POČETNOG ZAREZA

➤ Norme:

- Američki ASTM C1609
- Japanski JCI-SF 4
- Njemački DBV
- Austrijski OBV
- Belgijski NBN B-15238 itd.

ISPITIVANJE ŽILAVOSTI SAVIJANJEM PO ASTM C 1609

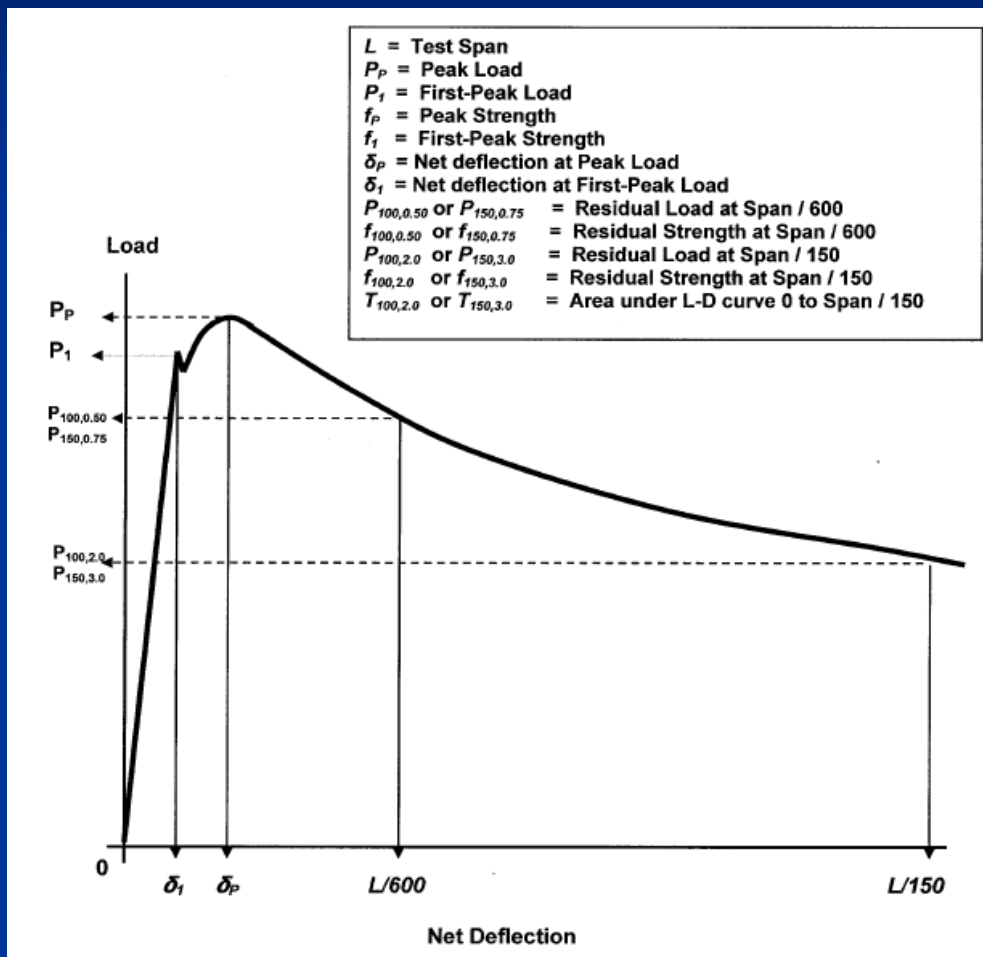


$$\delta_1 = \frac{23P_1L^3}{1296EI} \left[1 + \frac{216D^2(1 + \mu)}{115L^2} \right]$$

Progib pri prvoj pukotini

Vrijedi za mikroarmirani beton bez deformacijskog očvršćavanja

ISPITIVANJE ŽILAVOSTI SAVIJANJEM PO ASTM C 1609

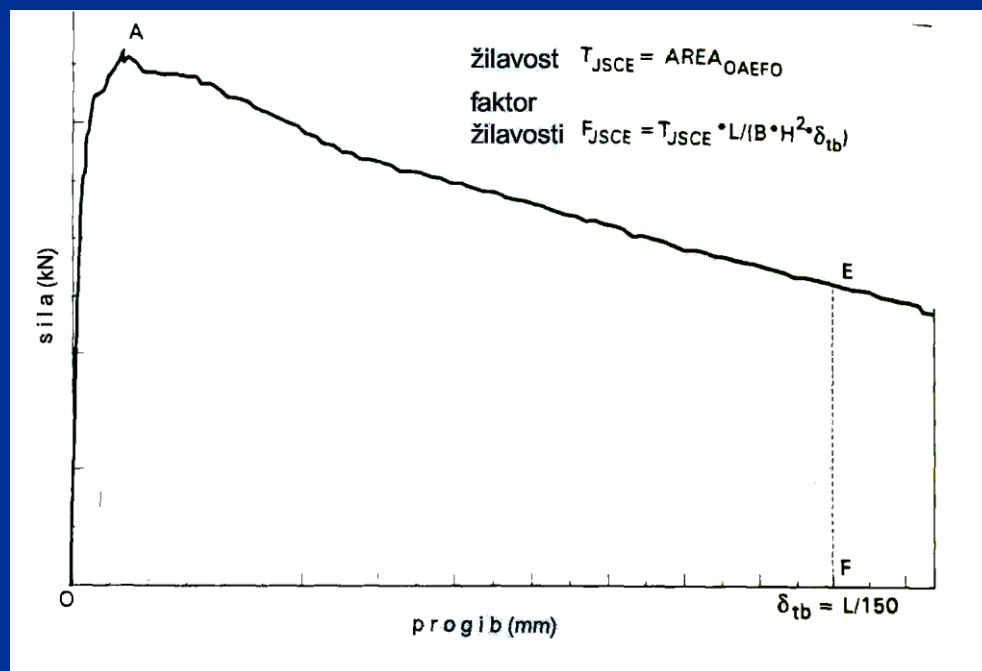


$$\delta_1 = \frac{23P_1L^3}{1296EI} \left[1 + \frac{216D^2(1 + \mu)}{115L^2} \right]$$

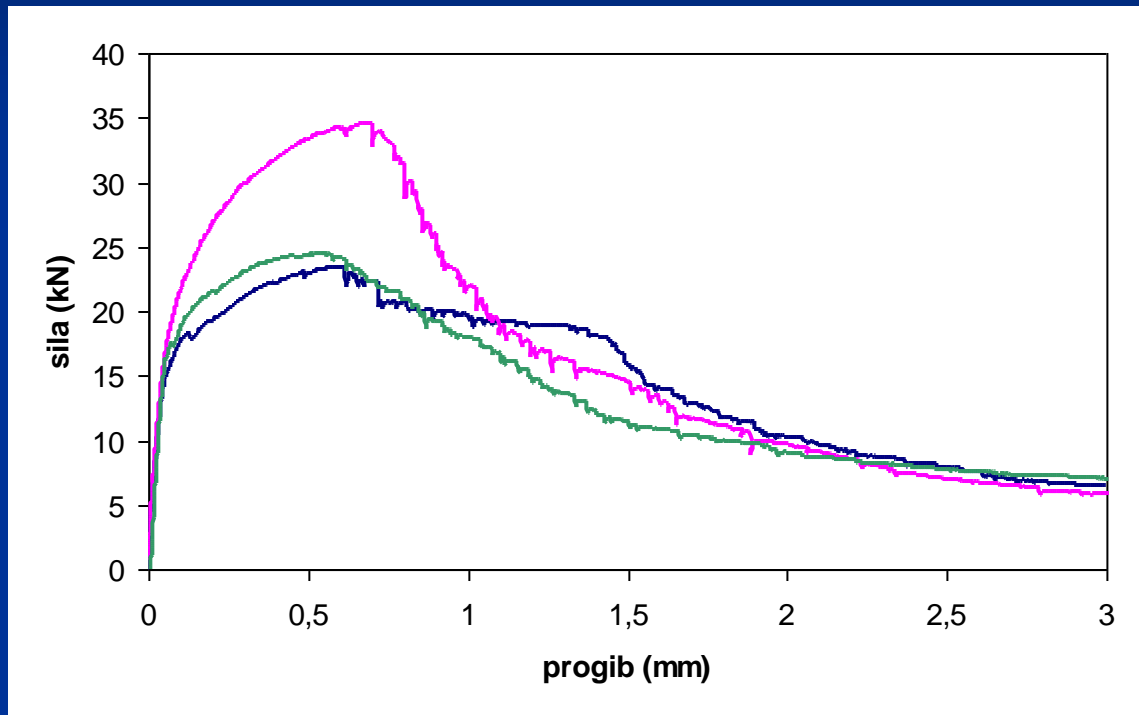
Progib pri prvoj pukotini

Vrijedi za mikroarmirani beton sa deformacijskim očvršćavanjem

ISPITIVANJE ŽILAVOSTI SAVIJANJEM PO JCI-SF 4



ISPITIVANJE ŽILAVOSTI SAVIJANJEM NA UZORCIMA MIKROARMIRANOG MLAZNOG BETONA VISOKIH UPORABNIH SVOJSTAVA ZA SANACIJU TUNELA SV. KUZAM U RIJECI



- CRVENA BOJA**-beton HPFRS 2, 40 kg/m³ čeličnih vlakana sa zavnutim krajevima
1/d=35/0.55 mm, i 40 kg/m³ ravnih čeličnih vlakana 1/d=10/0.2 mm
- PLAVA BOJA**-beton HPFRS 1, 50 kg/m³ čeličnih vlakana sa zavnutim krajevima 1/d=35/0.55 mm
- ZELENA BOJA**-beton HPFRS 3, 40 kg/m³ čeličnih vlakana sa zavnutim krajevima
1/d=35/0.55 mm, i 60 kg/m³ ravnih čeličnih vlakana 1/d=6/0.15 mm

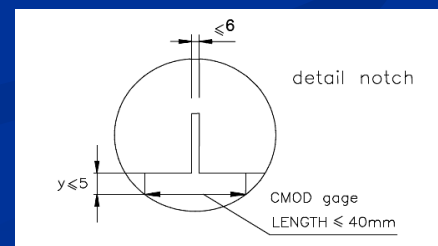
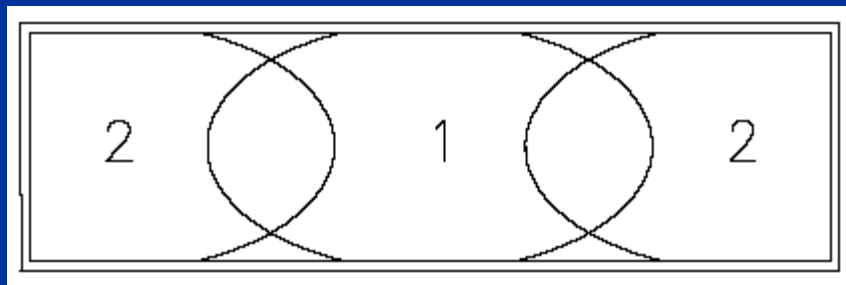
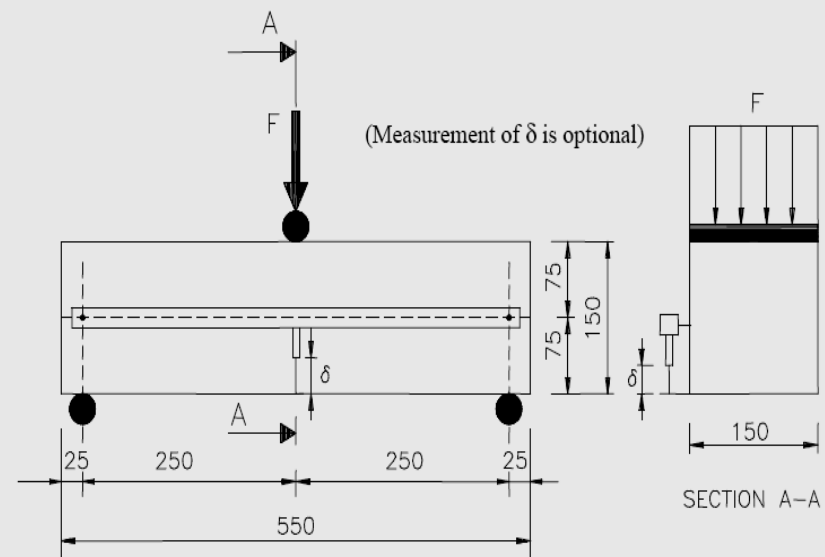
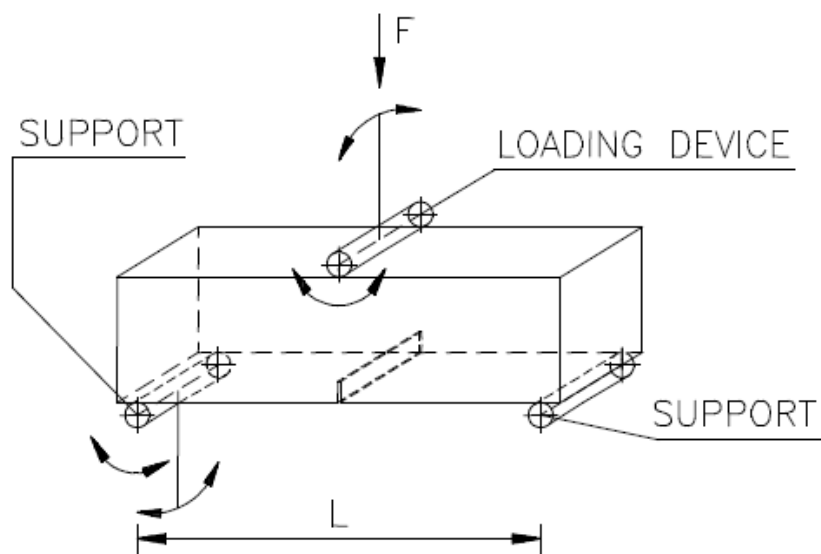
ISPITIVANJE SVOJSTAVA MIKROARMIRANOG MLAZNOG BETONA VISOKIH UPORABNIH SVOJSTAVA ZA SANCIJU TUNELA SV. KUZAM U RIJECI

Svojstvo	Metoda ispitivanja	Mjerna jedinica	Mješavina betona			
			HPFRS1	HPFRS 2	HPFRS 3	FRS
Tlačna čvrstoća nakon 28 dana	HRN EN 12504-1	MPa	61.7	73.9	82.3	41.5
Svojna čvrstoća nakon 28 dana	HRN EN 12390-5	MPa	12.6	16.8	16.0	8.7
Modul elastičnosti nakon 28 dana	HRN U.M1.025	GPa	27.1	32.4	-	-

Vrijeme (min)	0	30	60
Konzistencija slijeganjem po HRN EN 12350-2 za HPFRS 3 (mm)	170	155	120

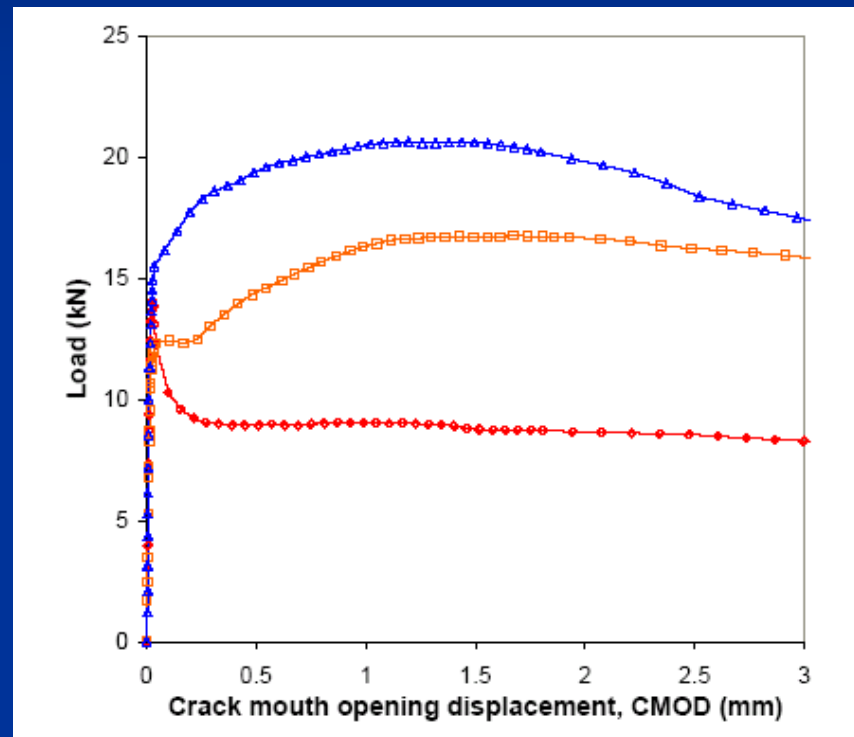
ISPITIVANJE ŽILAVOSTI SAVIJANJEM NA UZORCIMA SA POČETNIM ZAREZOM

➤ Prema RILEM TC 162



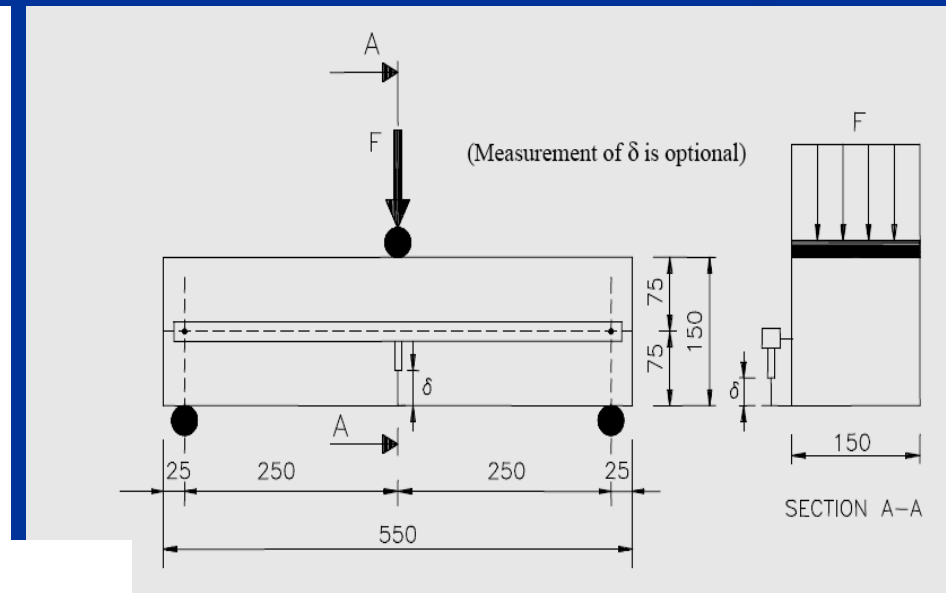
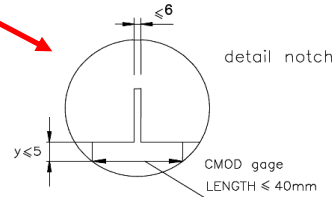
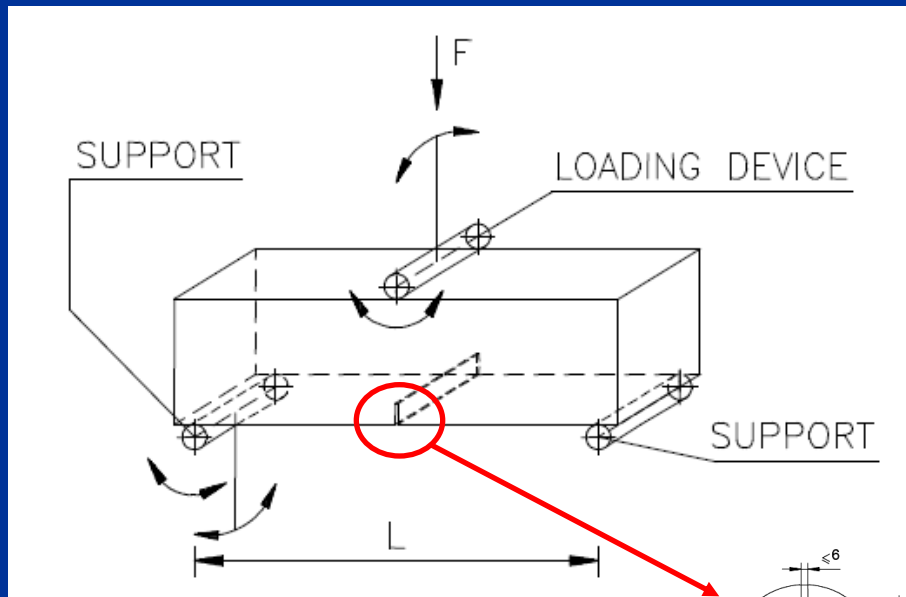
ISPITIVANJE ŽILAVOSTI SAVIJANJEM NA UZORCIMA SA POČETNIM ZAREZOM

Prema RILEM TC 162

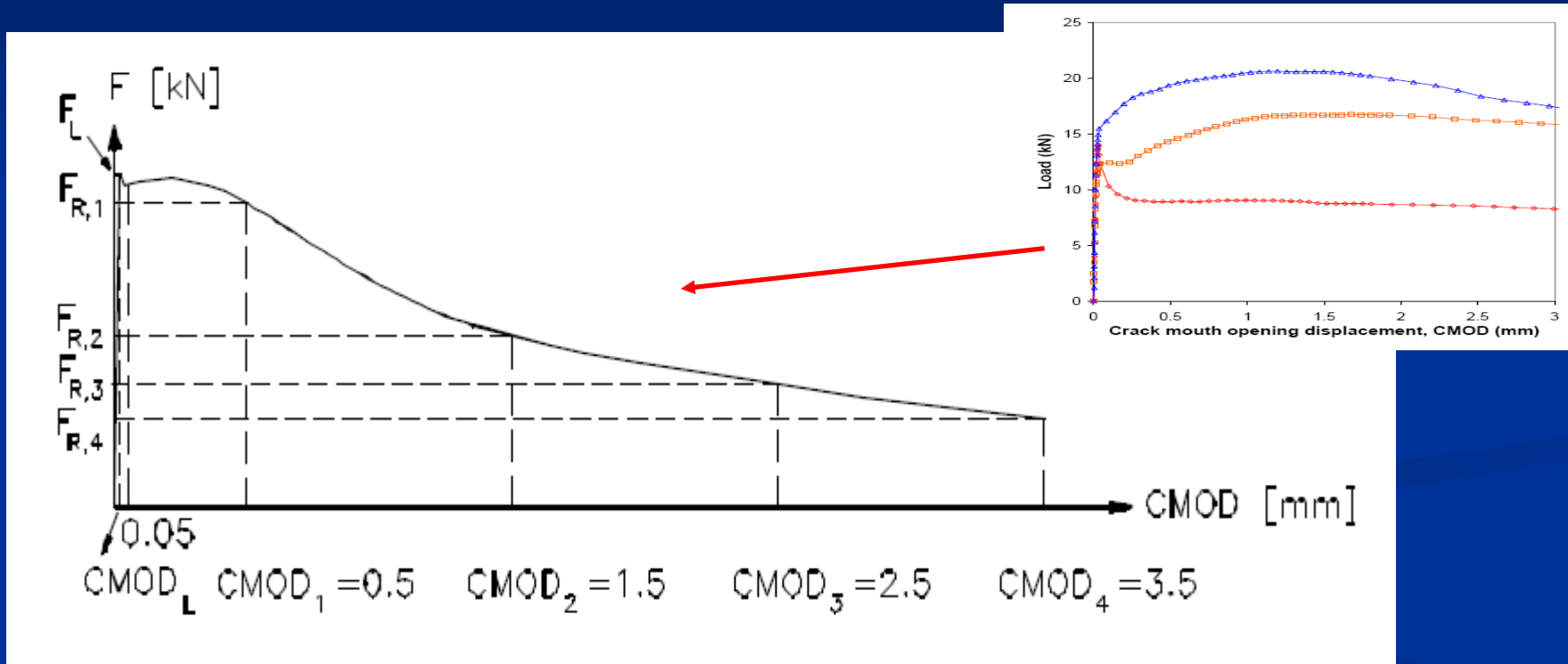


PRORAČUN PREMA RILEM TC 162

- Ispitivanje svojstava mikroarmiranog betona sa čeličnim vlaknima savijanjem prizme 150x150x500 mm sa početnim zarezom



PRORAČUN PREMA RILEM TC 162



GRANICA PROPORCIONALNOSTI $f_{fct,L} = \frac{3 \cdot F_L \cdot L}{2 \cdot b \cdot h_{sp}^2} \text{ [N/mm}^2\text{]}$

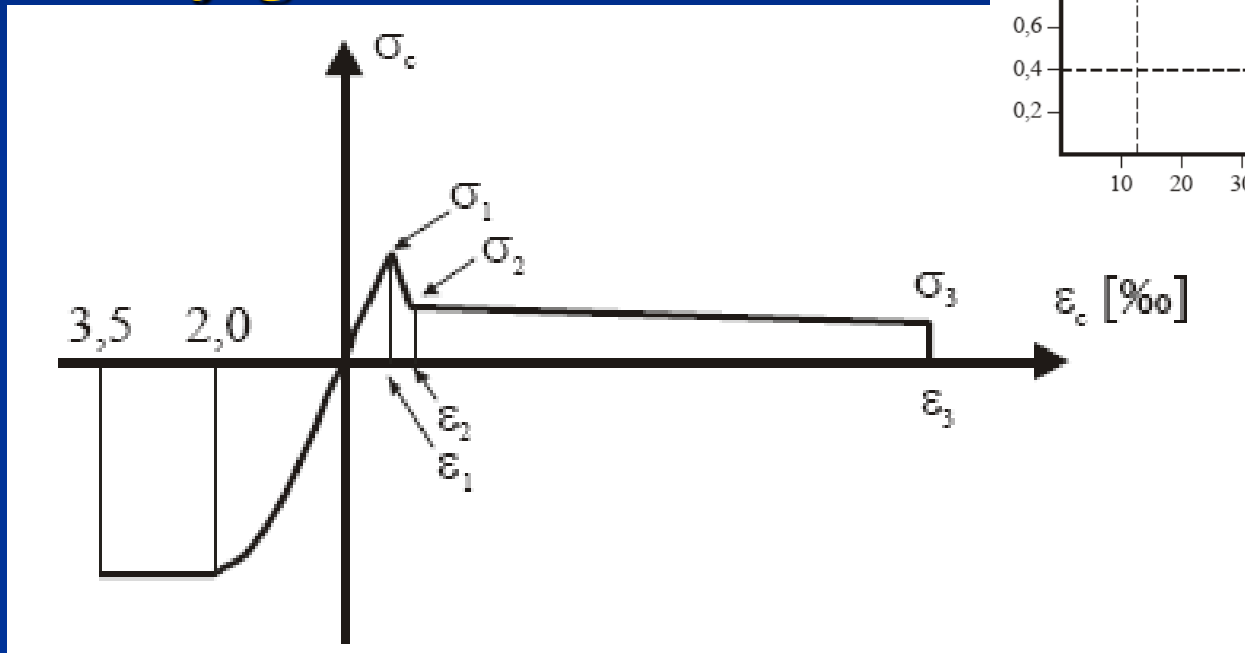
FAKTORI REZIDUALNIH SAVOJNIH ČVRSTOĆA $f_{R,j} = \frac{3 \cdot F_{R,j} \cdot L}{2 \cdot b \cdot h_{sp}^2} \text{ [N/mm}^2\text{]}$

PRORAČUN PREMA RILEM TC 162

- **Klasifikacija očvrslog mikroarmiranog betona sa čeličnim vlaknima:**
 - Tlačna čvrstoća na valjku iznosi 30 MPa
 - Rezidualne tlačne čvrstoće iznose
 - $f_{R,1} = 2.2 \text{ MPa}$ ($1 < f_{R,1} < 6 \text{ MPa}$)
 - $f_{R,4} = 1.5 \text{ MPa}$ ($0 < f_{R,4} < 4 \text{ MPa}$)
- **Mikroarmirani beton se klasificira kao:**
 - **C 30/37 F_L 2.0/1.5**

PRORAČUN PREMA RILEM TC 162

➤ Radni dijagram:



$$\sigma_1 = 0.7 \cdot f_{\text{ctm,fl}}(1.6 - d)$$

$$\varepsilon_1 = \sigma_1 / E_c$$

$$\sigma_2 = 0.45 \cdot f_{R,1} \cdot k_h$$

$$\varepsilon_2 = \varepsilon_1 + 0.01\%$$

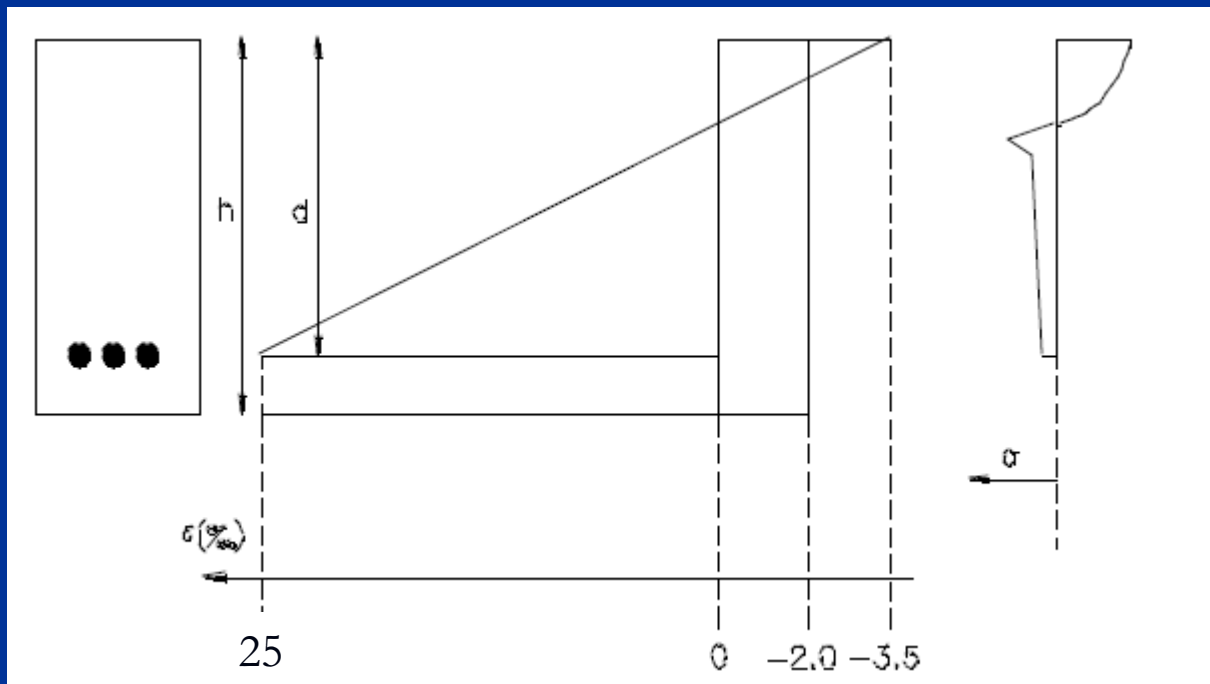
$$\sigma_3 = 0.37 \cdot f_{R,4} \cdot k_h$$

$$\varepsilon_3 = 2.5\%$$

$$E_c = 9500(f_{\text{fcm}})^{1/3}$$

PRORAČUN PREMA RILEM TC 162

- **Krajnje granično stanje- savijanje sa uzdužnom silom ili bez**



PRORAČUN PREMA RILEM TC 162

- **Krajnje granično stanje - otpornost na posmik**

$$V_{Rd3} = V_{cd} + V_{fd} + V_{wd}$$

$$V_{fd} = k_f \cdot k_1 \cdot \tau_{fd} \cdot b_w \cdot d$$

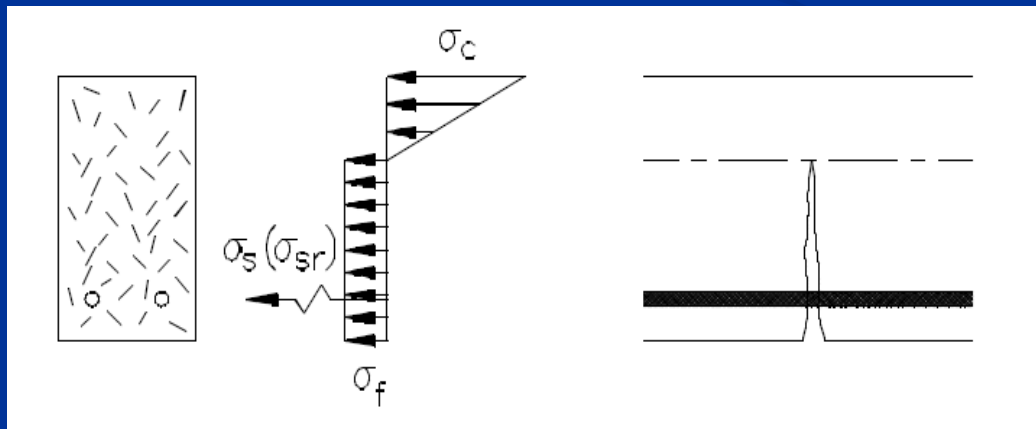
- **minimalna armatura u slučaju mikroarmiranja čeličnim vlaknima ne treba**
- **karakteristična rezidualna savojna čvrstoća:**
 $f_{Rk,4} > 1 \text{ MPa}$

PRORAČUN PREMA RILEM TC 162

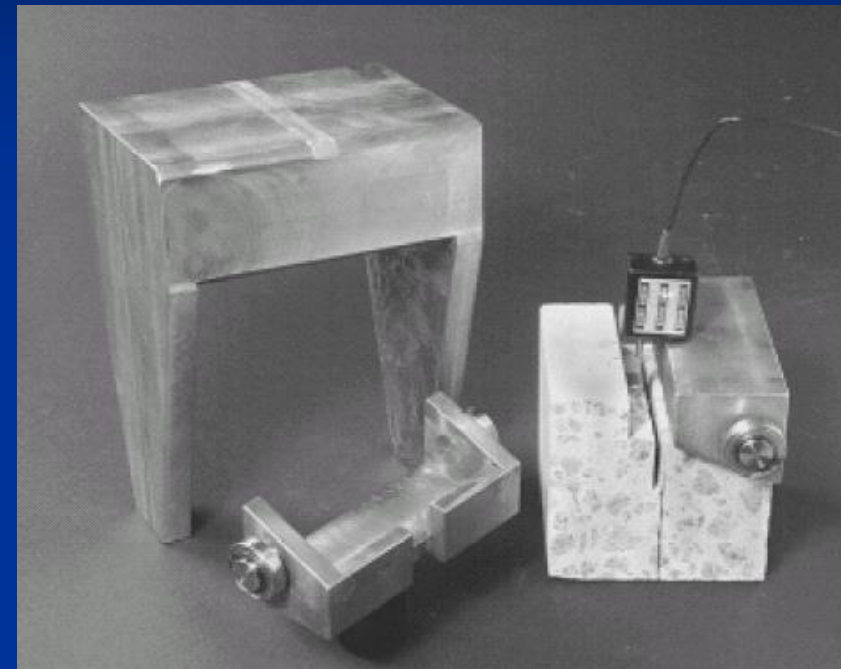
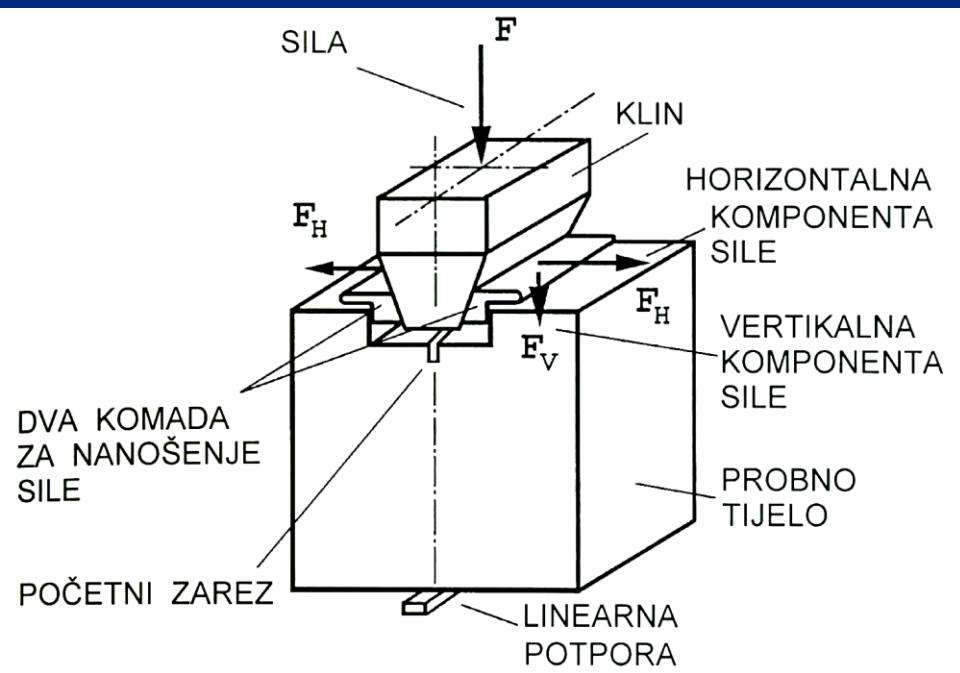
- Granično stanje uporabljivosti - kontrola širine pukotina

$$w_k = \beta \cdot s_{rm} \cdot \epsilon_{sm}$$

$$s_{rm} = (50 + 0.25 \cdot k_1 \cdot k_2 \cdot \frac{\phi_b}{\rho_r}) \cdot \left(\frac{50}{L/\phi} \right) \quad (\text{mm})$$

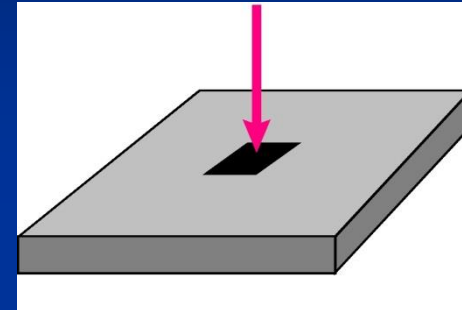
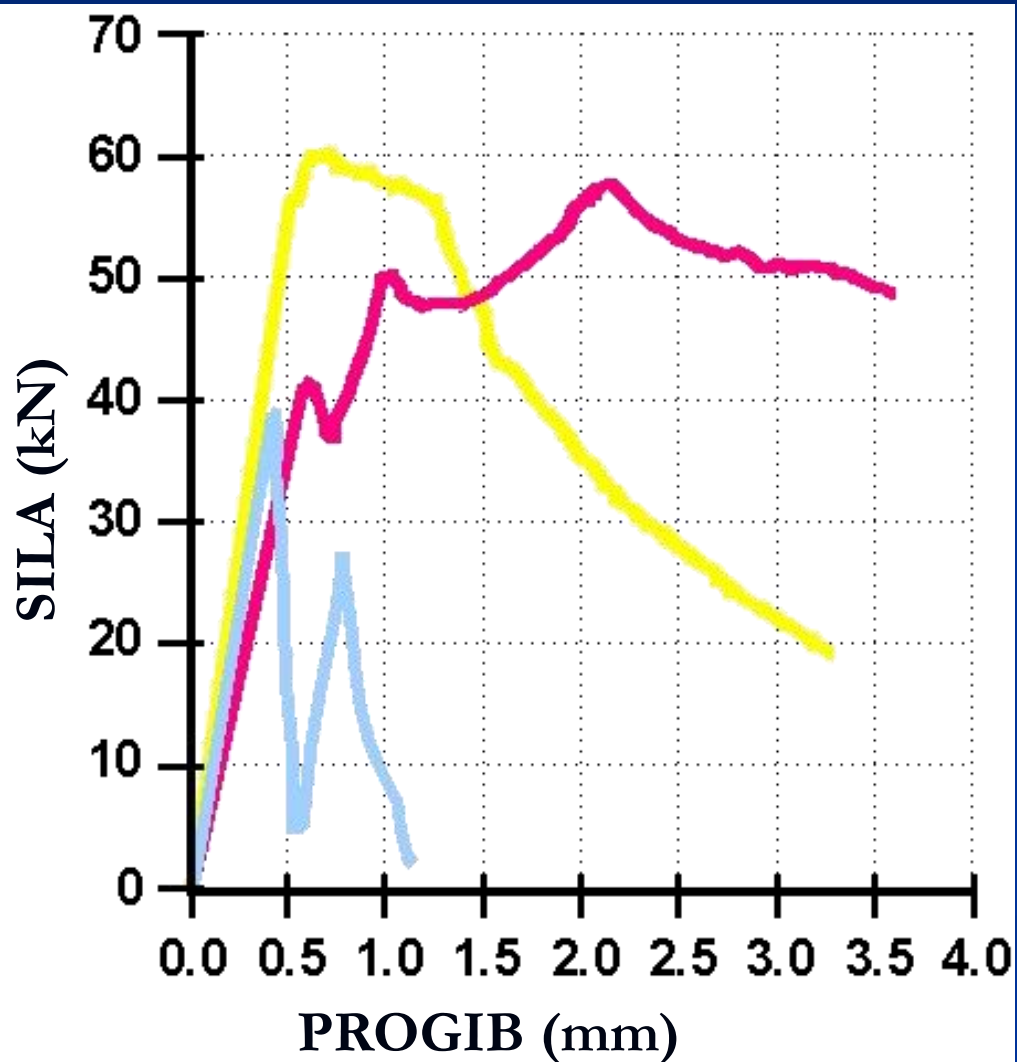


ISPITIVANJE ŽILAVOSTI METODOM CIJEPANJA KLINOM



- Uglavnom se koristi za kod istraživanja mikroarmiranog betona
- Prizmatični ili kockasti uzorci s početnim zarezom
- Mjeri se širina otvora pukotine i sila
- Mogu se ispitivati i valjci izbušeni iz konstrukcije

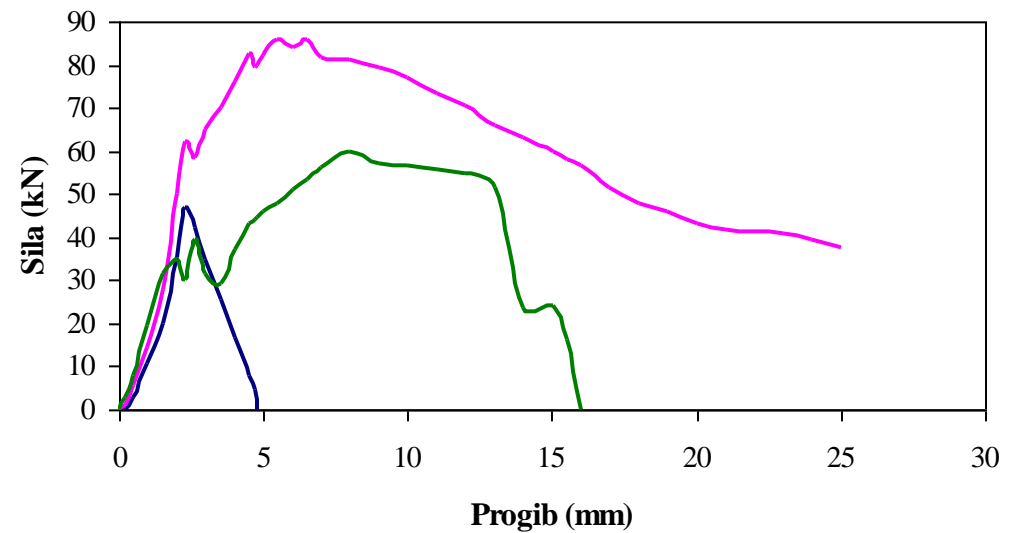
ISPITIVANJE ŽILAVOSTI NA PANELIMA



Dimenzije panela:

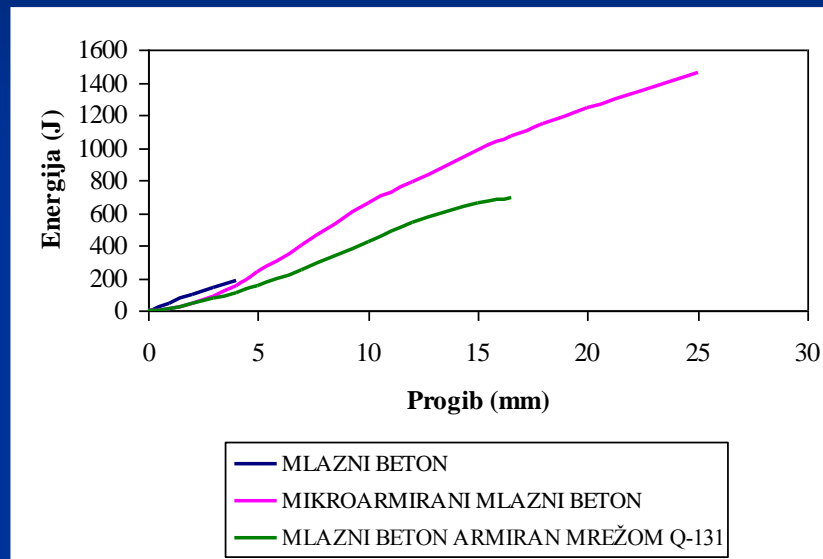
600 mm × 600 mm × 100 mm

ISPITIVANJE ŽILAVOSTI MIKROARMIRANOG MLAZNOG BETONA ZA TUNEL SVETI ROK



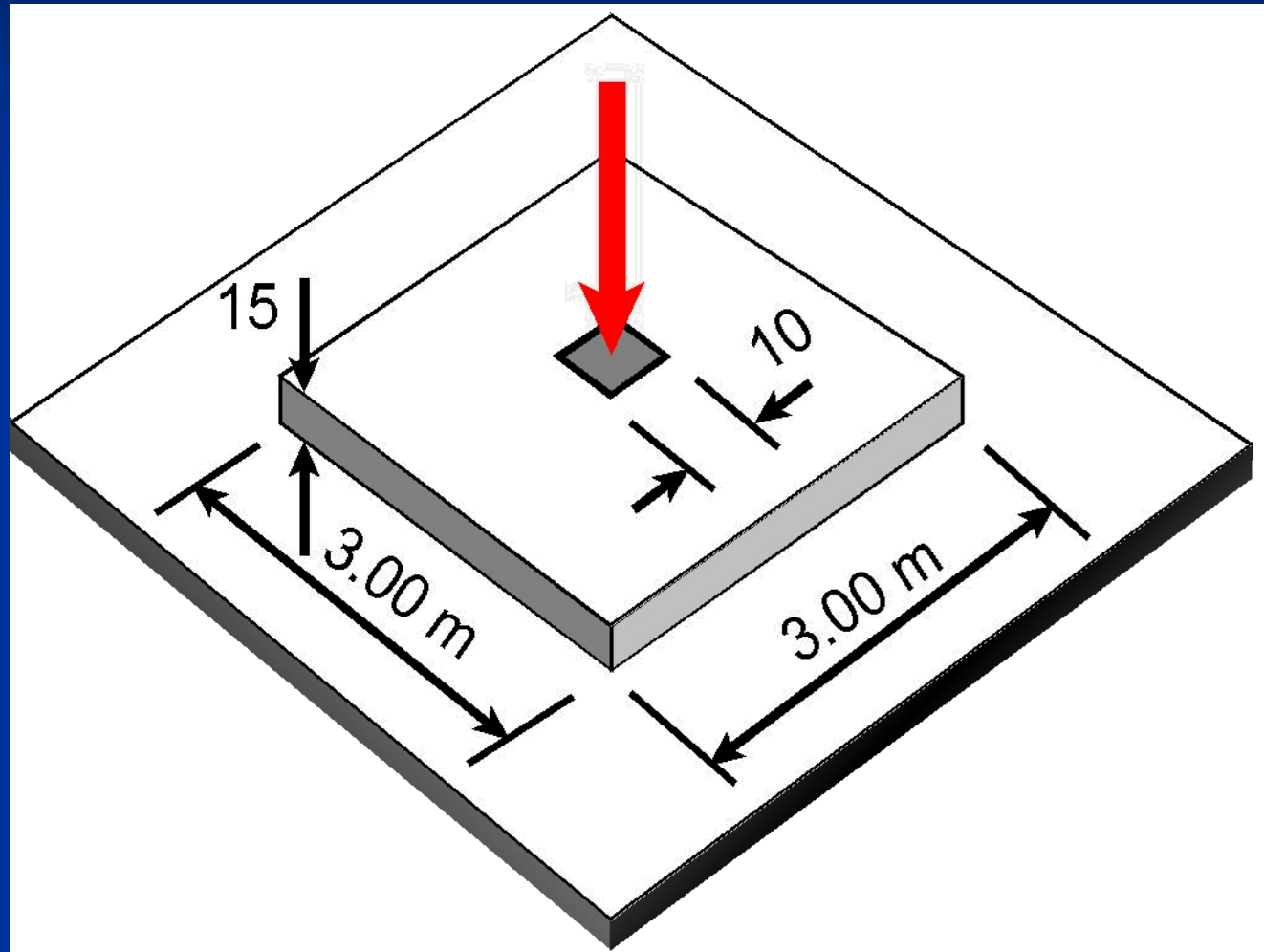
EFNARC

ISPITIVANJE ŽILAVOSTI MIKROARMIRANOG MLAZNOG BETONA ZA TUNEL SVETI ROK



Uzorak	Sila pri prvoj pukotini (kN)	Maksimalna sila (kN)	Maksimalni progib (mm)
Mlazni beton	46	46	4
Mikroarmirani mlazni beton	62	85	25
Mlazni beton armiran mrežom Q-131	47	60	18

ISPITIVANJE ŽILAVOSTI NA PANELIMA



Dimenzije panela:

3.0 m × 3.0 m × 0.15 m

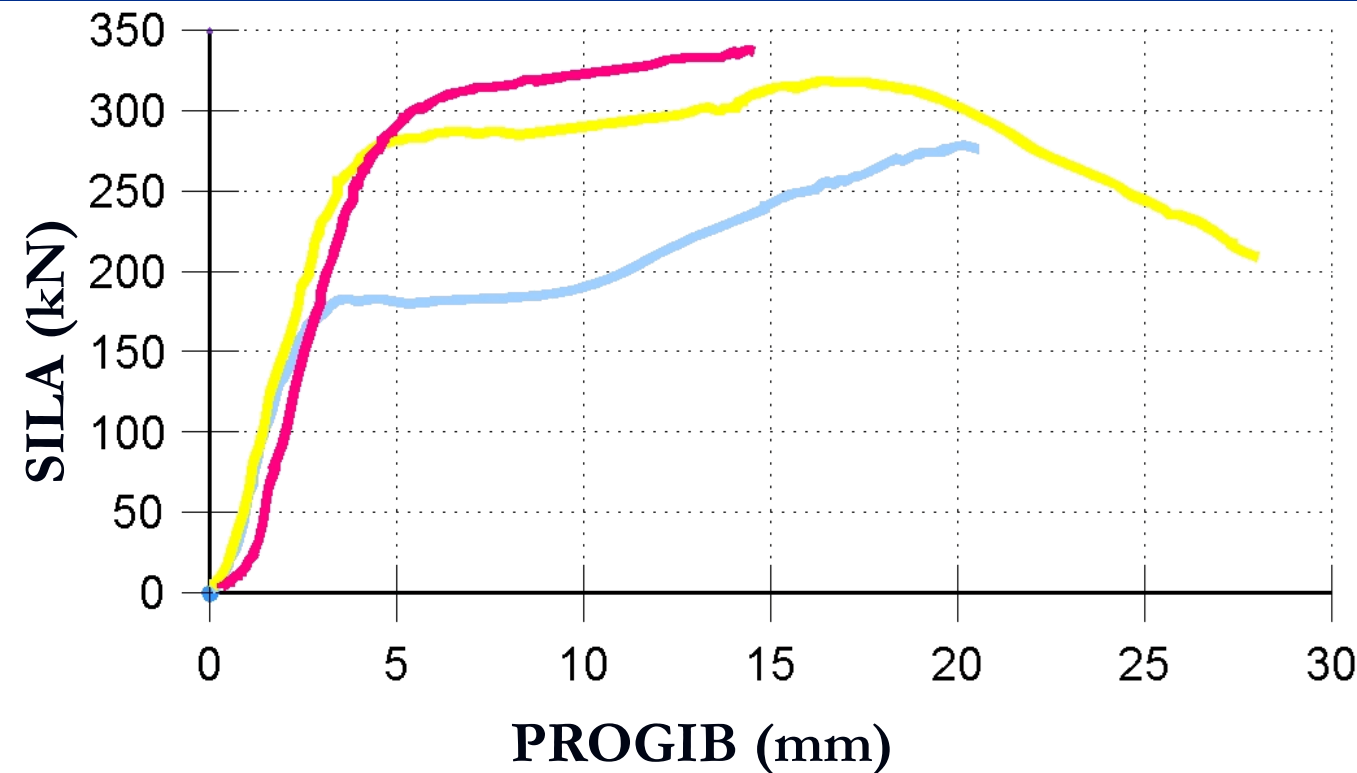
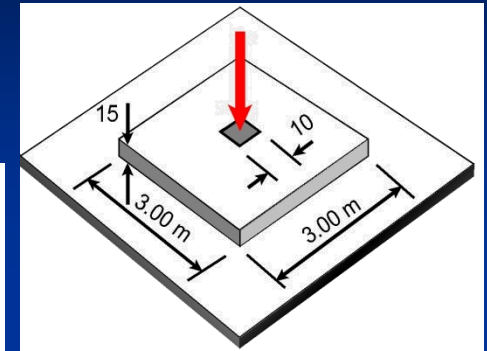
Posteljica:

$k = 0.07 \text{ N/mm}^3$

(7 bars/cm)

Koristi se kod podnih ploča u
industrijskim halama

ISPITIVANJE ŽILAVOSTI NA PANELIMA



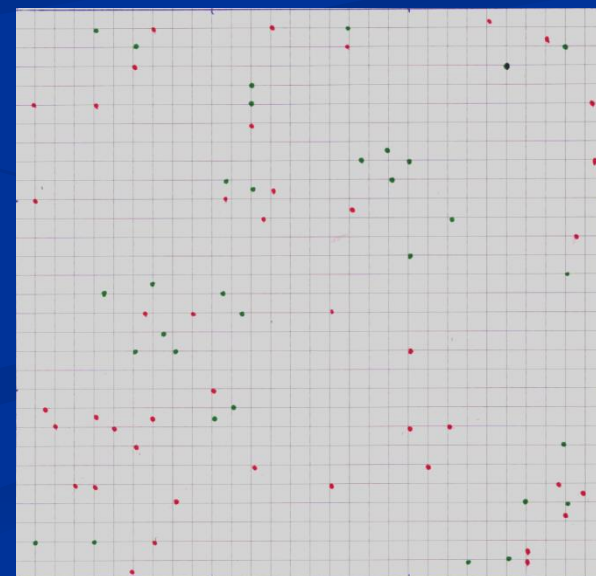
- 50 kg/m³ Čel. vl.
- 30 kg/m³ Čel. vl.
- Obični beton

KOEFICIJENT ORIJENTACIJE VLAKANA

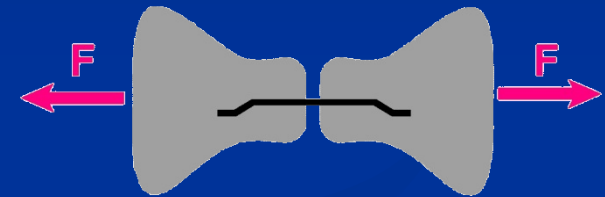
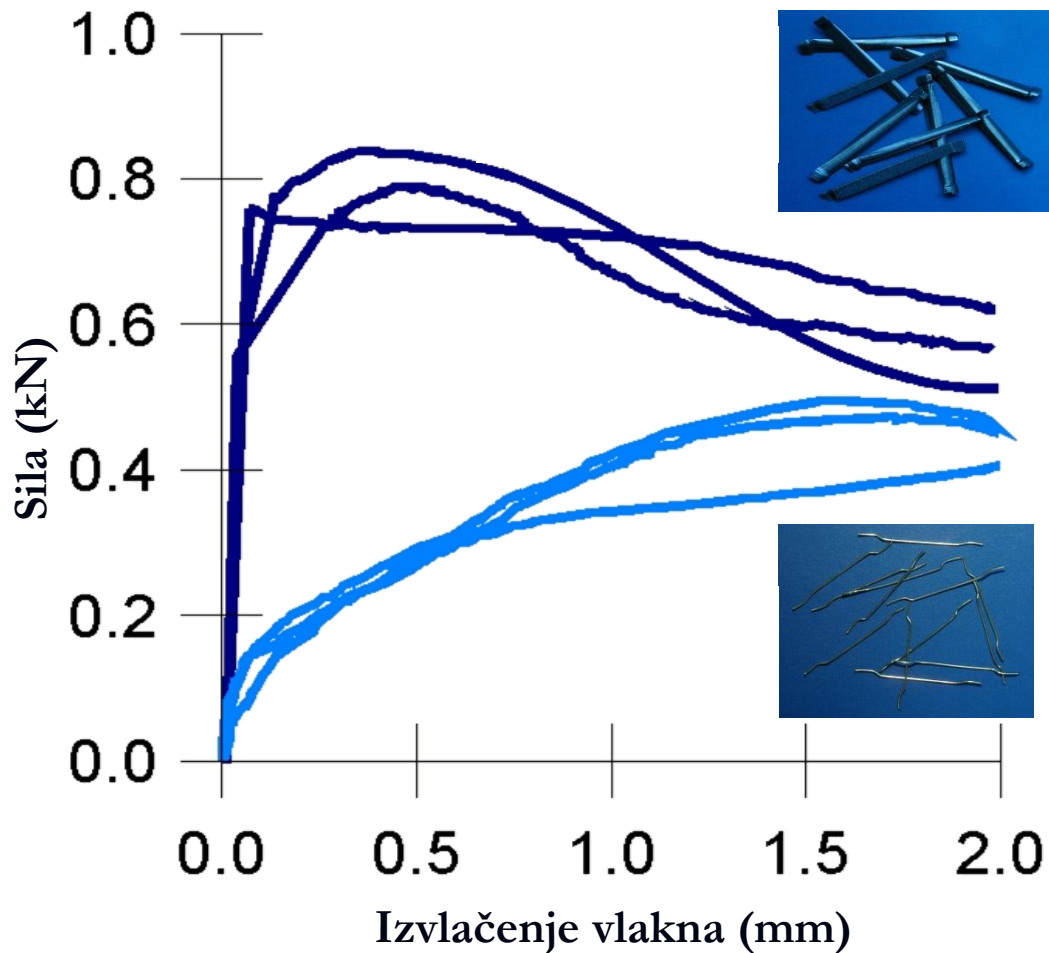
- Koeficijent orijentacije vlakana predstavlja orijentaciju vlakana u poprečnom presjeku uzorka mikroarmiranog betona i ima značajan utjecaj na ponašanje pod savojnim opterećenjem.
- Može poprimiti vrijednosti između 0 i 1.
Kada je koeficijent jednak 1, vlakno je orijentirano okomito na smjer djelovanja savojnog opterećenja, kada je 0 vlakno je orijentirano u smjeru djelovanja savojnog opterećenja.

$$\eta_{\phi} = \frac{M \cdot 25 \cdot \pi \cdot d_f^2}{v_f \cdot A_p}$$

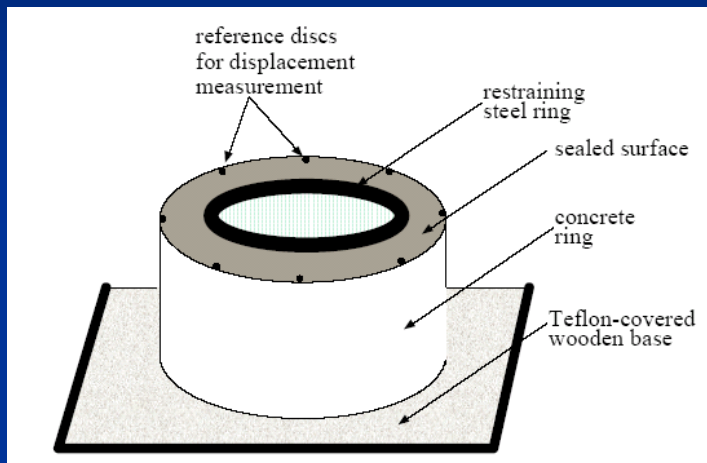
M – broj vlakana u poprečnom presjeku uzorka,
 d_f – promjer vlakana,
 v_f – volumni udio istovrsnih vlakana,
 A_p – površina poprečnog presjeka uzorka



ISPITIVANJE PRIONLJIVOSTI VLAKANA PULL-OUT POSTUPKOM



ISPITIVANJE RASPUCAVANJA USLIJED SPRIJEČENOG SKUPLJANJA



ISPITIVANJE RASPUCAVANJA USLIJED SPRIJEČENOG SKUPLJANJA

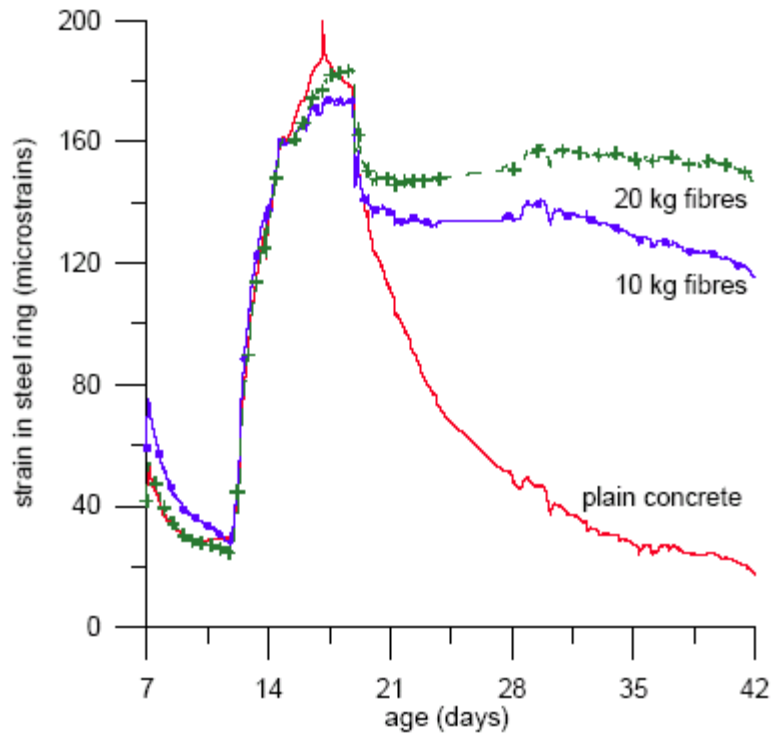
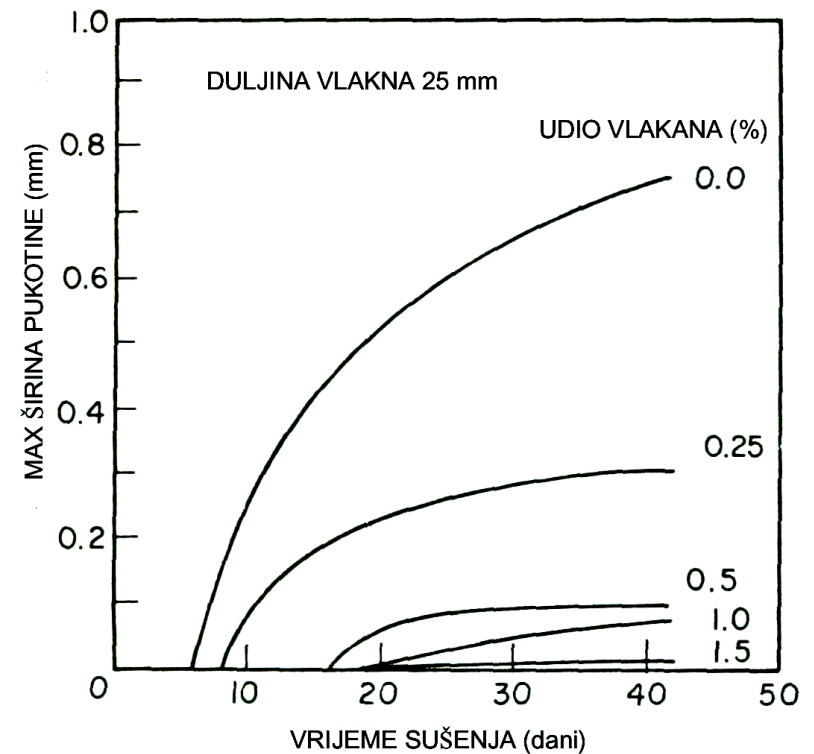
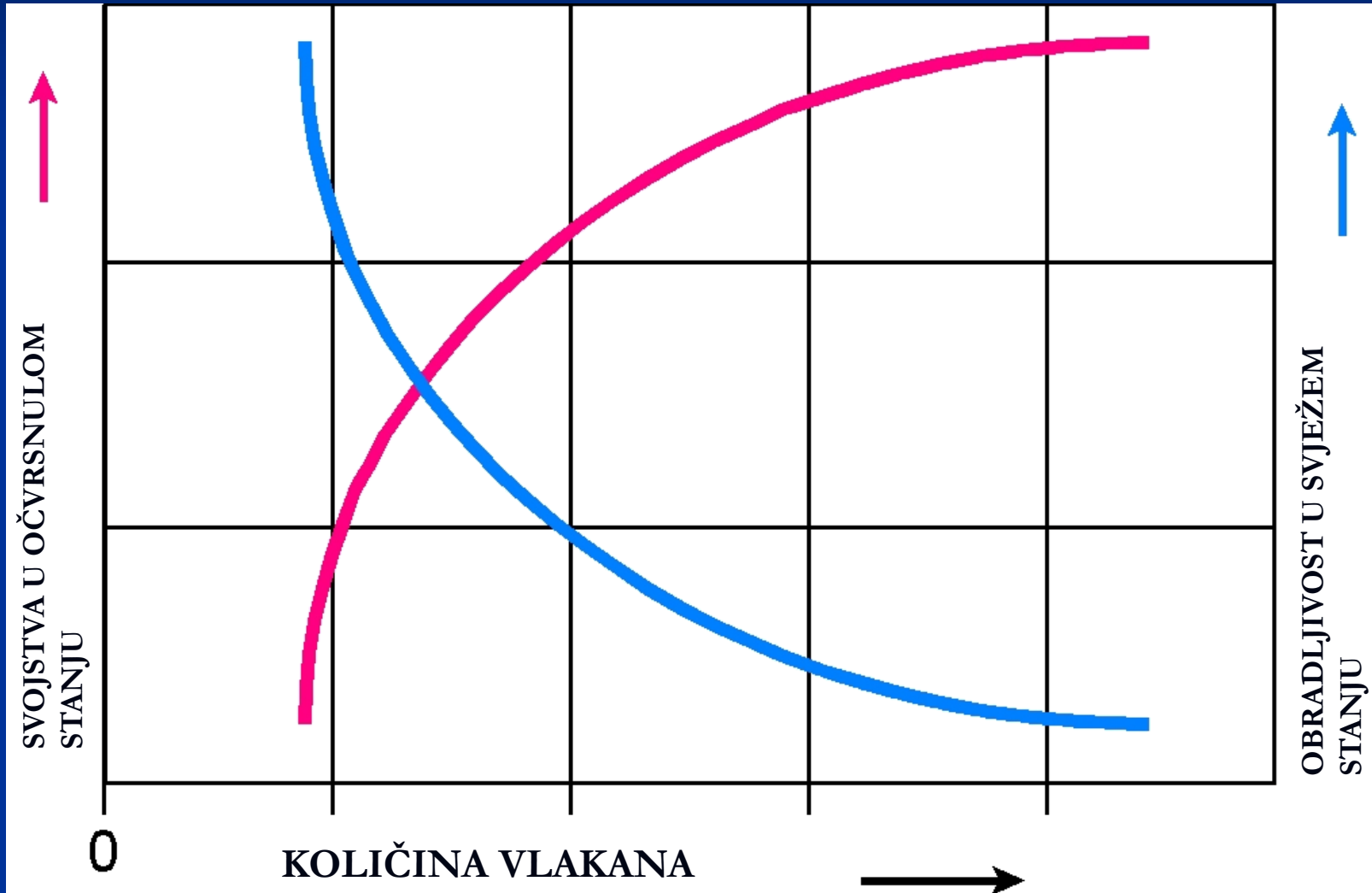


Figure 6. Strains in steel restraining ring



Utjecaj čeličnih vlakana na maksimalnu širinu pukotina pri ispitivanju spriječenog skupljanja pomoću tzv. ring testa

UTJECAJ KOLIČINE VLAKANA NA SVOJSTVA



SVOJSTVA U SVJEŽEM STANJU

- Mikroarmirani beton sa čeličnim vlaknima treba posjedovati dostatnu obradljivost da se može pravilno ugraditi, zbijati i njegovati, a da se pritom osigura pravilna raspodjela vlakana, bez segregacije i grudvanja vlakana

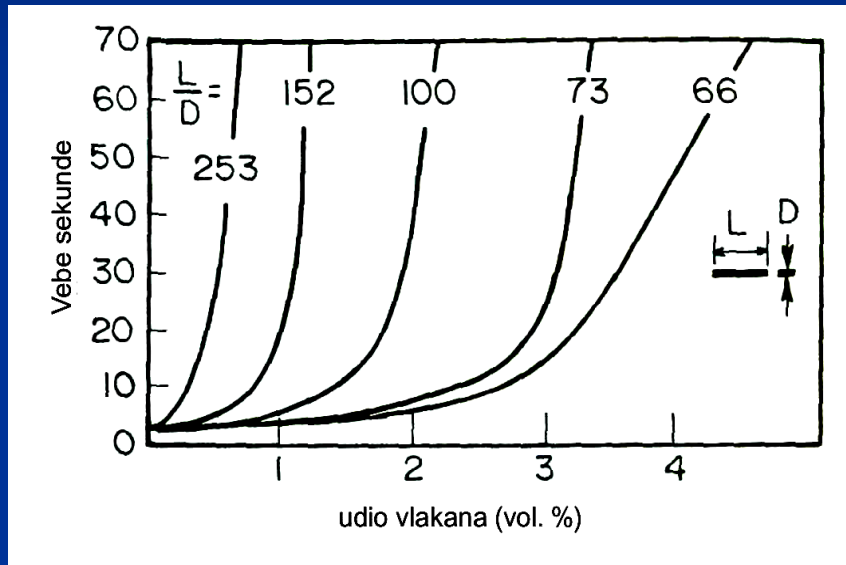


SVOJSTVA U SVJEŽEM STANJU

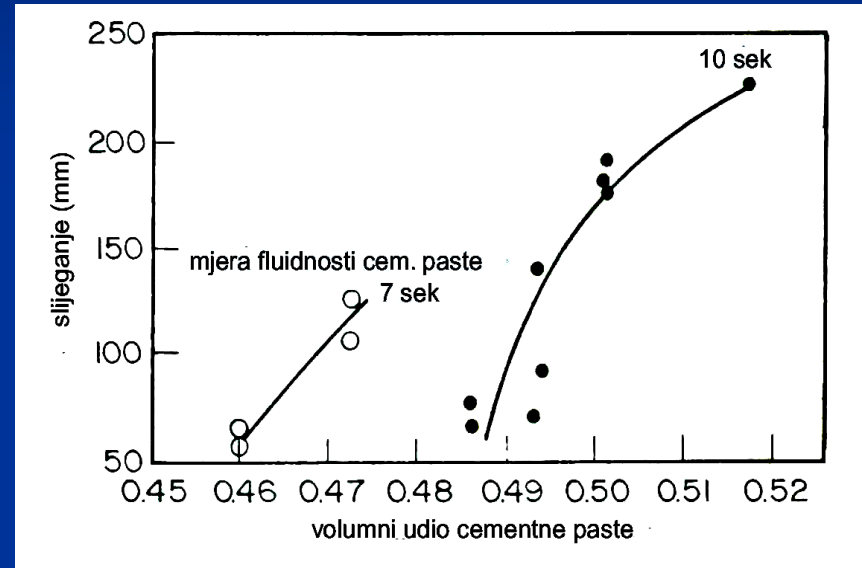
- Faktori koji utječu na svojstva u svježem stanju:
 - količina i vrsta čeličnih vlakana,
 - koeficijent oblika čeličnih vlakana,
 - veličina maksimalnog zrna agregata,
 - količina sitnih čestica u sastavu betona.
- Ispitivanje konzistencije najčešće metodom slijeganja ili rasprostiranja



SVOJSTVA U SVJEŽEM STANJU

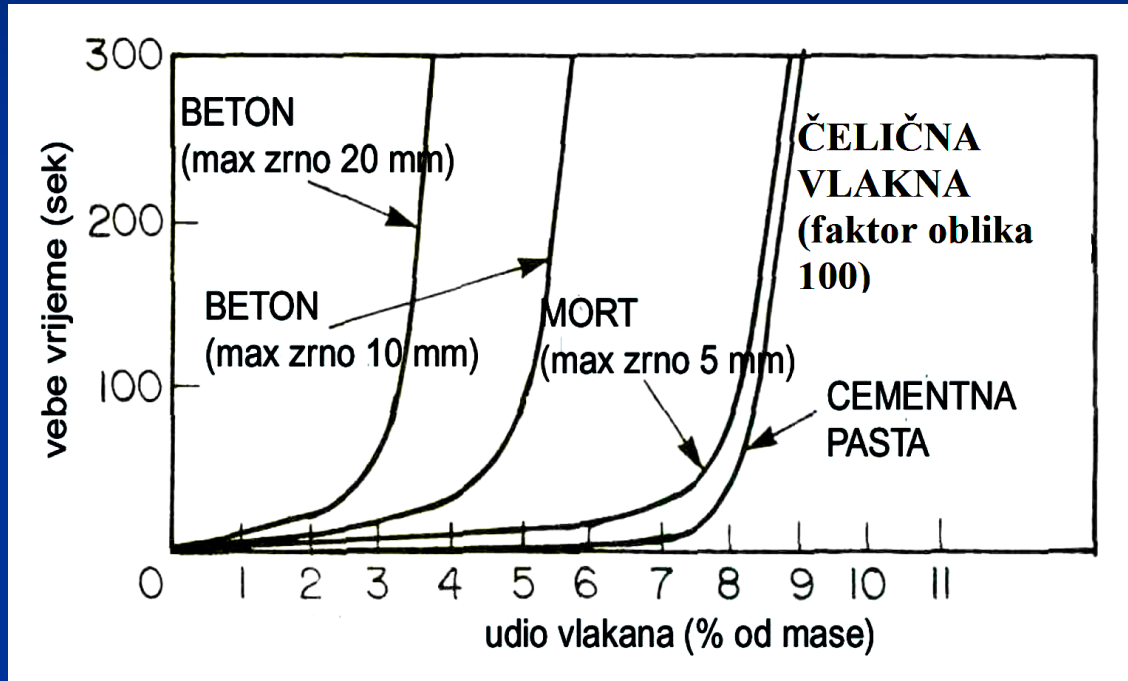


Veći faktor oblika vlakana nepovoljno djeluje na konzistenciju



Povećanje volumnog udjela cementne paste na utječe na poboljšanu konzistenciju mikroarmiranog betona

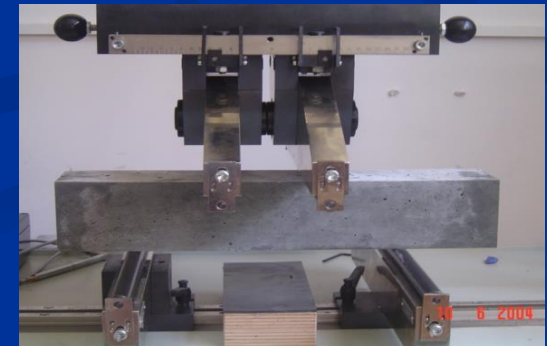
SVOJSTVA U SVJEŽEM STANJU



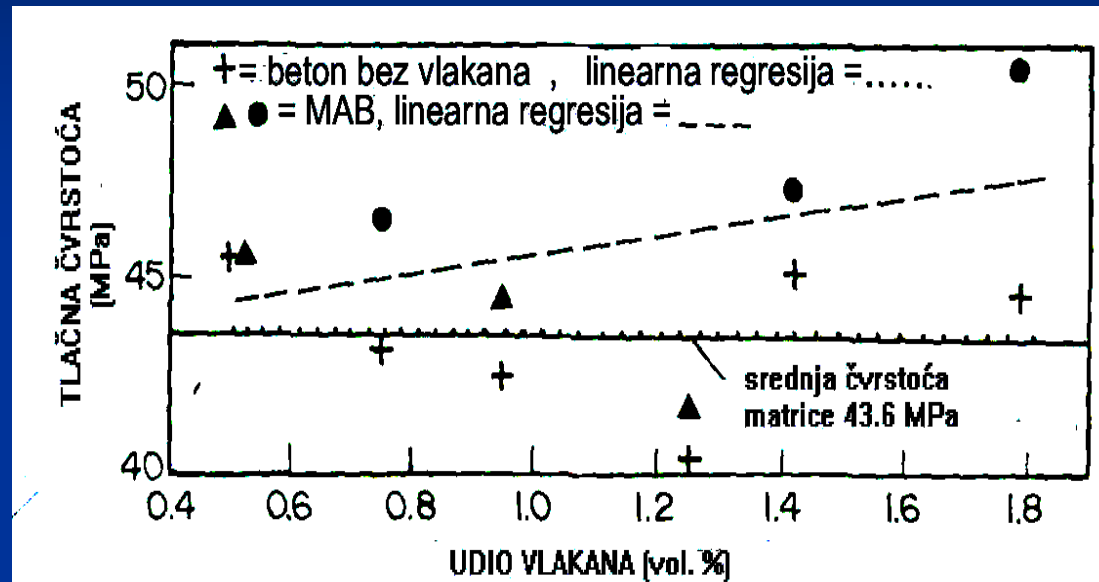
- Povećanjem maksimalnog zrna agregata smanjuje se količina čeličnih vlakana koja se može dodati
- Povećanjem količine čeličnih vlakana smanjuje se konzistencija

SVOJSTVA U OČVRSLOM STANJU

- **Intenzitet poboljšanja svojstava uslijed mikroarmiranja vlaknima ovisi o:**
 - **Količini i vrsti vlakana**
 - **Prionljivosti vlakana i matrice**
 - **Kvaliteti betonske matrice**
- **Poboljšanje svojstava uslijed mikroarmiranja nije proporcionalno povećanju količine vlakana**

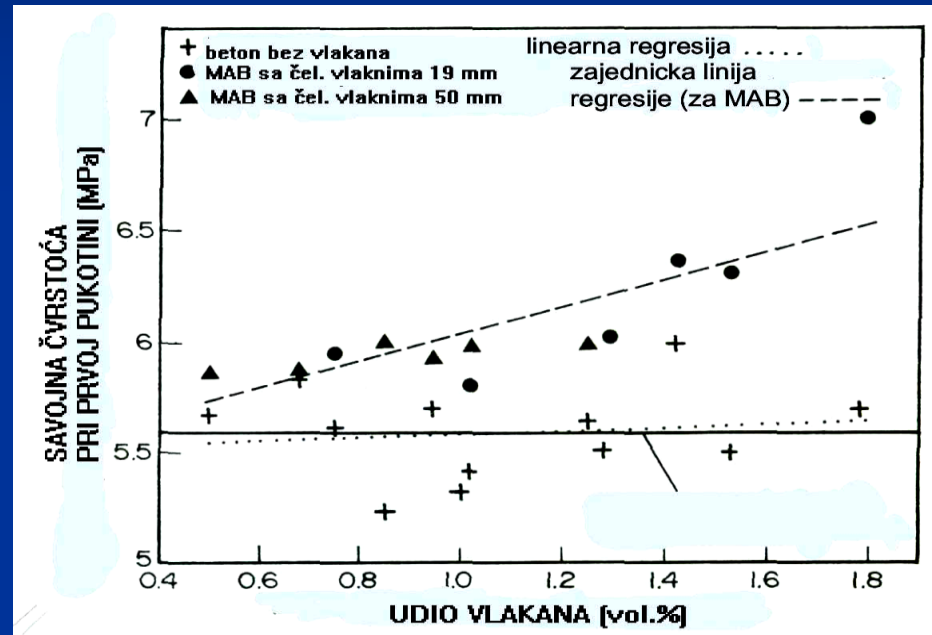
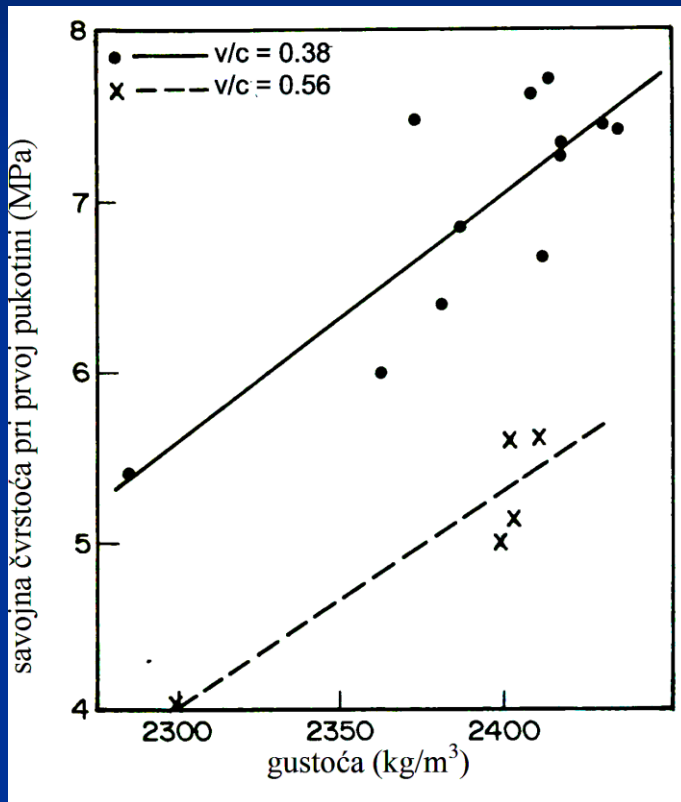


TLAČNA ČVRSTOĆA MIKROARMIRANOG BETONA SA ČELIČNIM VLAKNIMA



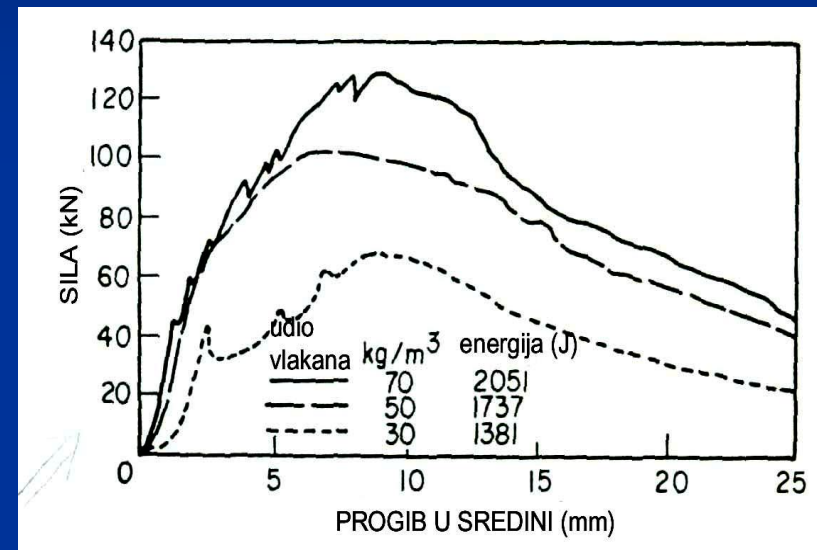
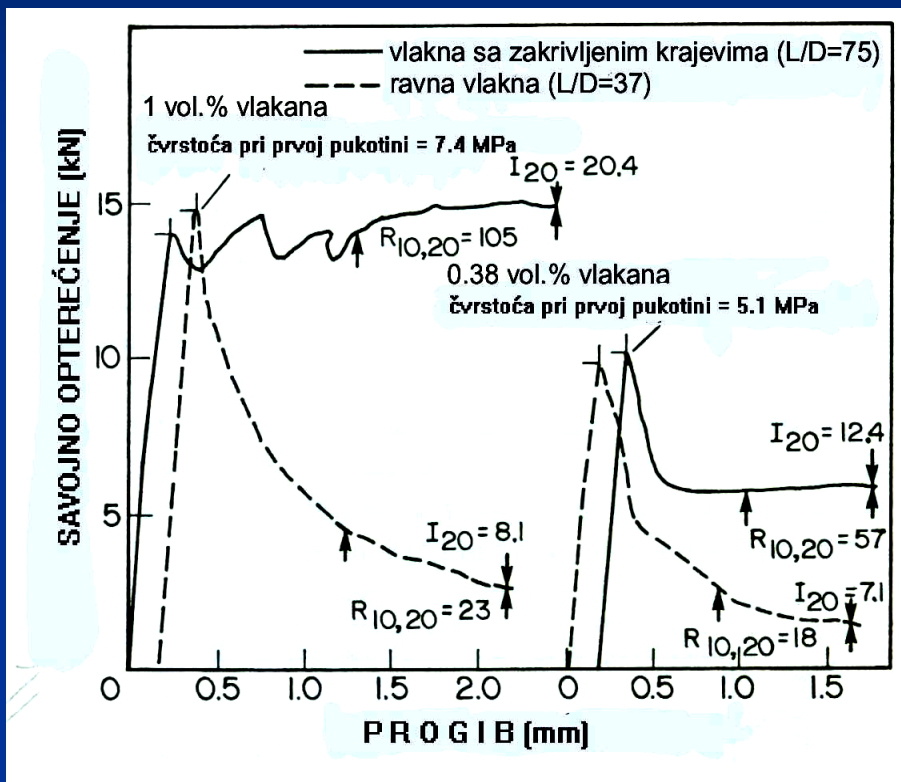
- Dodavanjem čeličnih vlakana u količini do 1.5 vol.% tlačna čvrstoća betona povećava se do 15 %
- Razlog tome je da tlačna čvrstoća ovisi prvenstveno o kvaliteti betonske matrice

SAVOJNA ČVRSTOĆA MIKROARMIRANOG BETONA SA ČELIČNIM VLAKNIMA



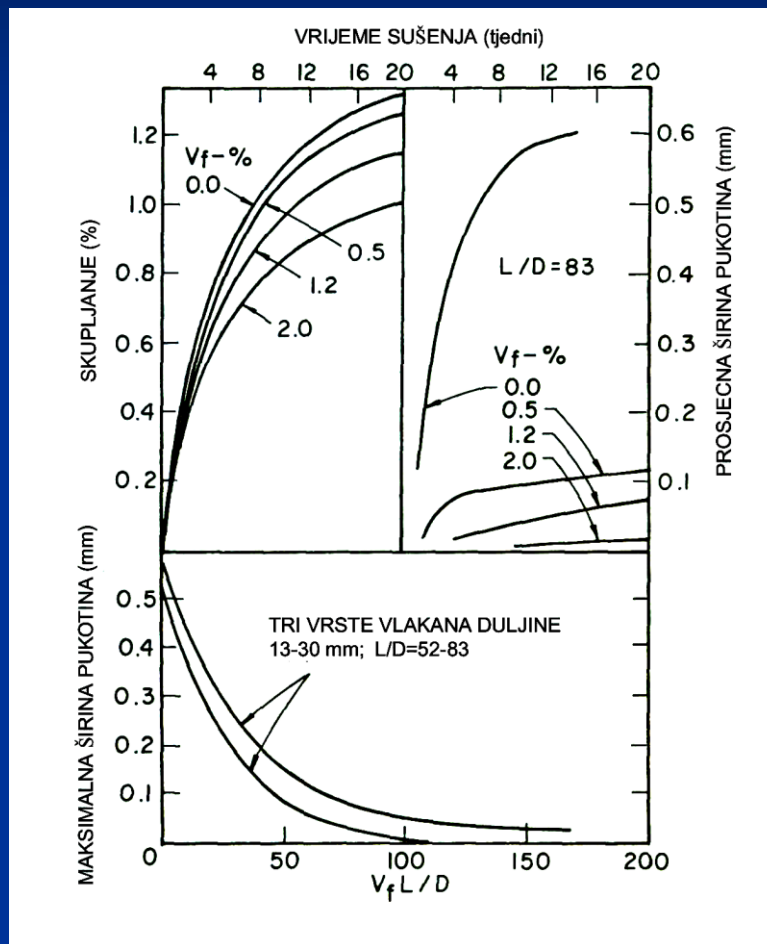
- Povećanje savojne čvrstoće pri manjoj koliini dodanih čeličnih vlakana (do 1 vol. %) nije veliko iz razloga što u tom slučaju savojna čvrstoća ovisi prvenstveno o kvaliteti matrice

ŽILAVOST MIKROARMIRANOG BETONA SA ČELIČNIM VLAKNIMA



- Dodatak čeličnih vlakana djeluje na bitno povećanje žilavosti

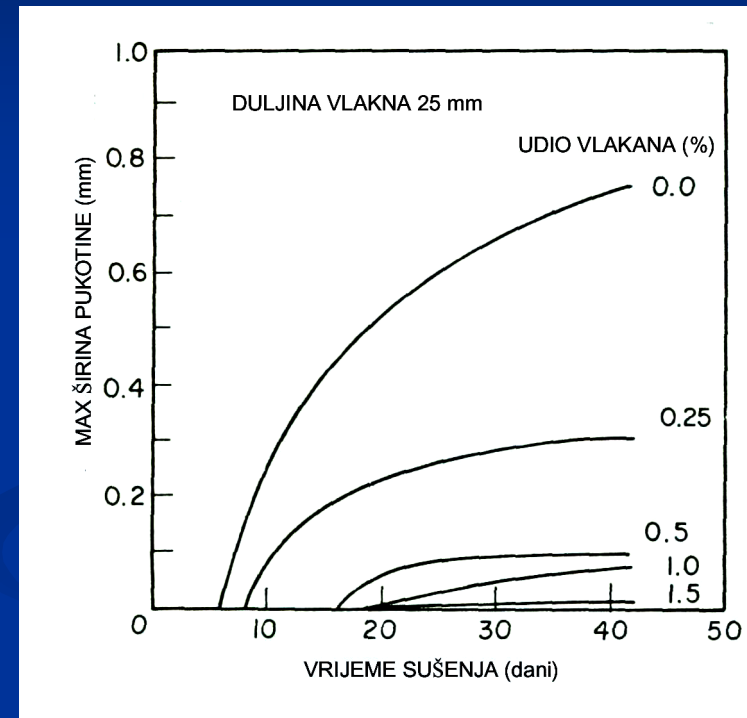
UTJECAJ KOLIČINE I FAKTORA OBLIKA ČELIČNIH VLAKANA NA STVARANJE PUKOTINA OD SPRIJEČENOG SKUPLJANJA



- Čelična vlakna ne utječu bitnije na skupljanje betona, ali imaju bitan doprinos smanjenju broja i širine pukotina kod spriječenog skupljanja

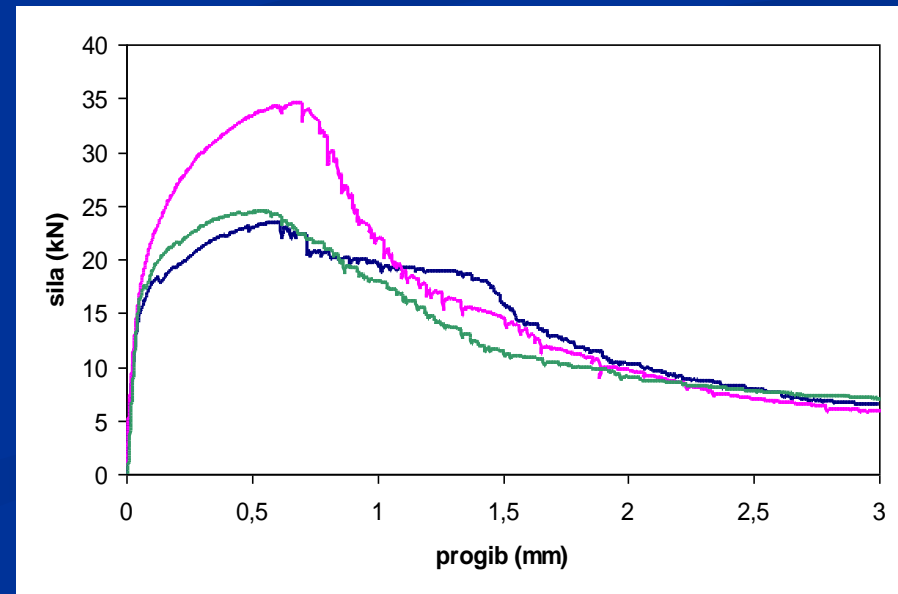
SVOJSTVA TRAJNOSTI

- Čelična vlakna povećavaju prionljivost betona i armature
- Korozijski sloj samo kod površinskog sloja čeličnih vlakana
- Povoljan utjecaj čeličnih vlakana na nastanak i širenje pukotina

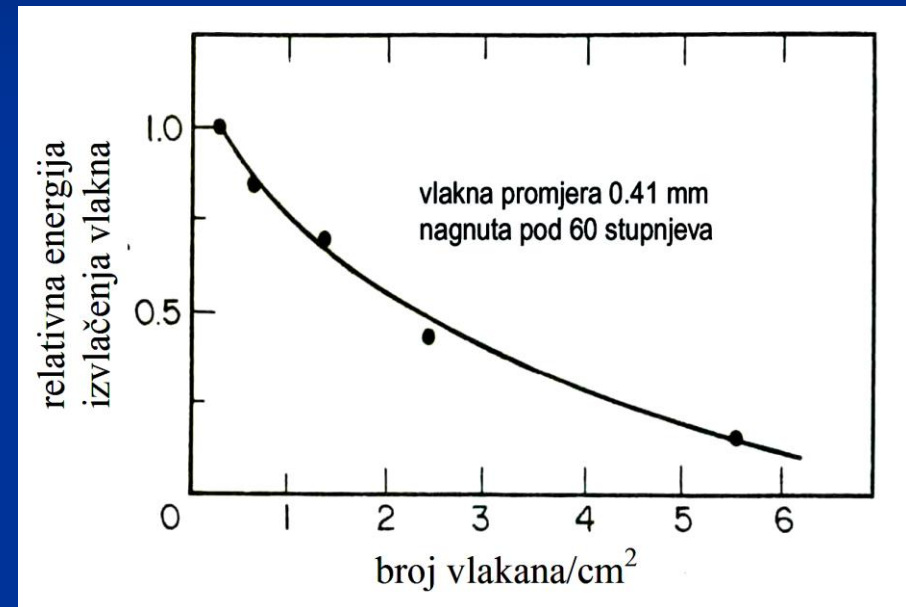
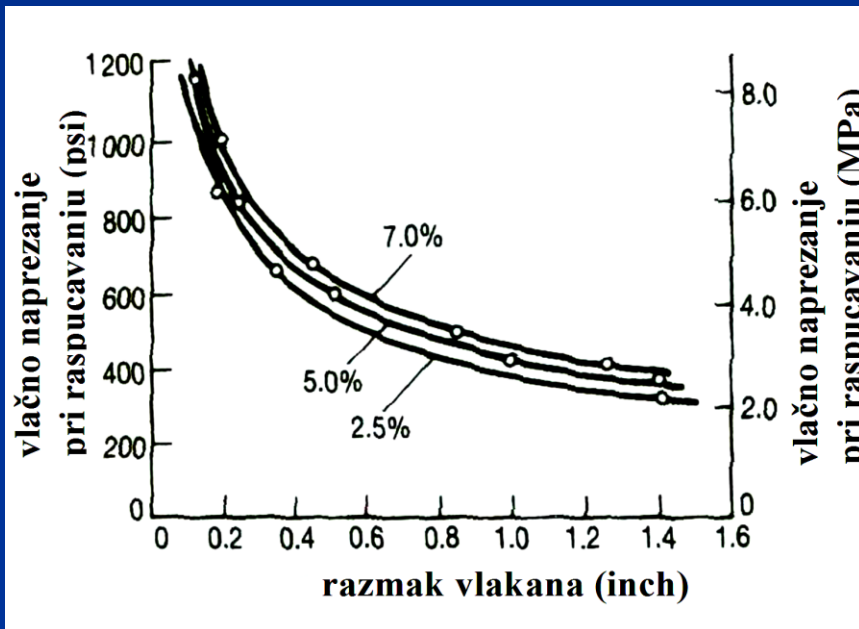


SVOJSTVA U OČVRSLOM STANJU

- Mikroarmiranjem betona sa čeličnim vlaknima bitno se poboljšavaju slijedeća svojstva:
 - Žilavost
 - Sprečavanje nastanka pukotina, smanjenje njihove širine i razmaka
 - Duktilnost
 - Sposobnost apsorpcije energije
 - Otpornost na udar
 - Čvrstoća na umor



SVOJSTVA U OČVRSLOM STANJU



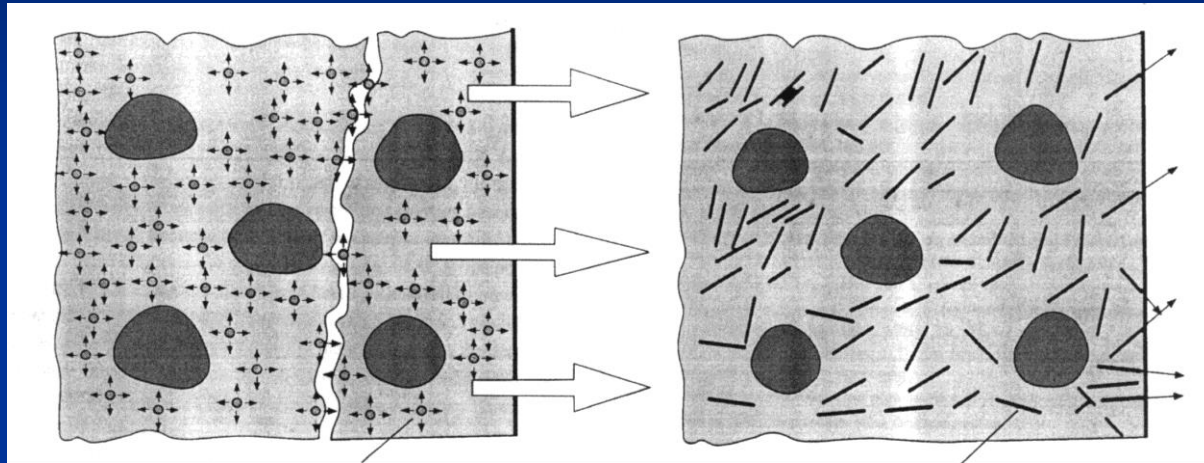
- **PITANJE:** koristiti veći broj kratkih vlakana ili manji broj dugih vlakana?

UTJECAJ POLIPROPILENSKIH VLAKANA NA SVOJSTVA BETONA

- Mikroarmiranjem betona s polipropilenskim vlaknima bitno se poboljšavaju slijedeća svojstva:
 - Žilavost
 - Sprečavanje nastanka pukotina u svježem betonu
 - Otpornost na udar
 - Otpornost na djelovanje požara



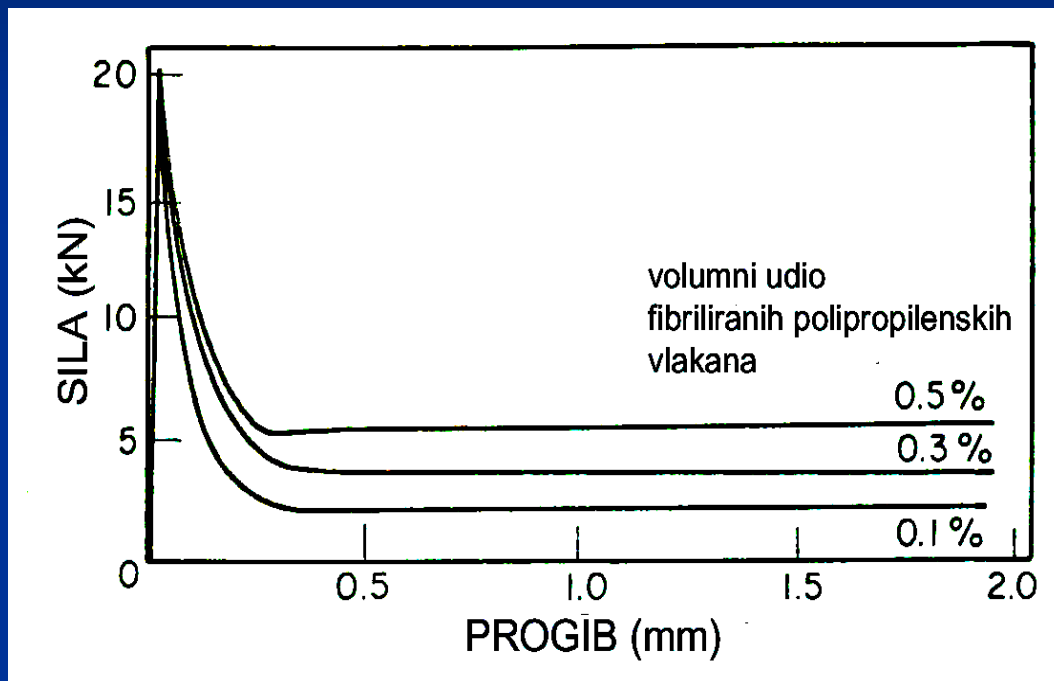
DJELOVANJE POLIPROPILENSKIH VLAKANA PRI POŽARU



Pri velikim temperaturama tijekom požara voda se pretvara u paru, ali ne može ispariti zbog guste strukture betona. Polipropilenska vlakna se rastope na cca 170°C i stvaraju kanale kroz koje vodena para može izaći.

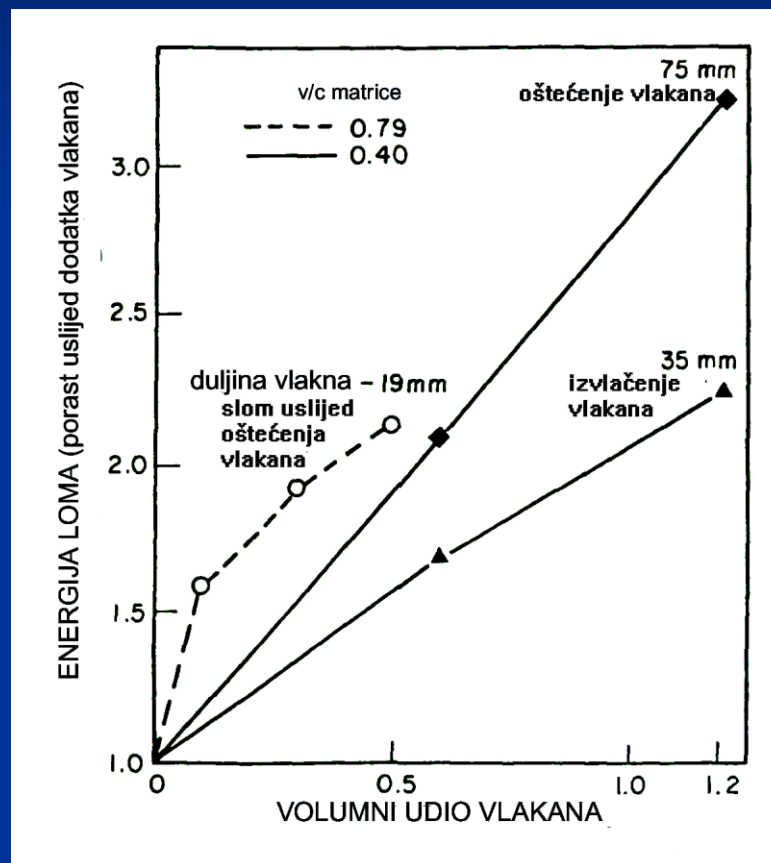
Na taj način se smanjuje ljuštenje površine betona, otpadanje zaštitnog sloja i smanjenje nosivosti.

ŽILAVOST MIKROARMIRANOG BETONA SA POLIPROPILENSKIM VLAKNIMA



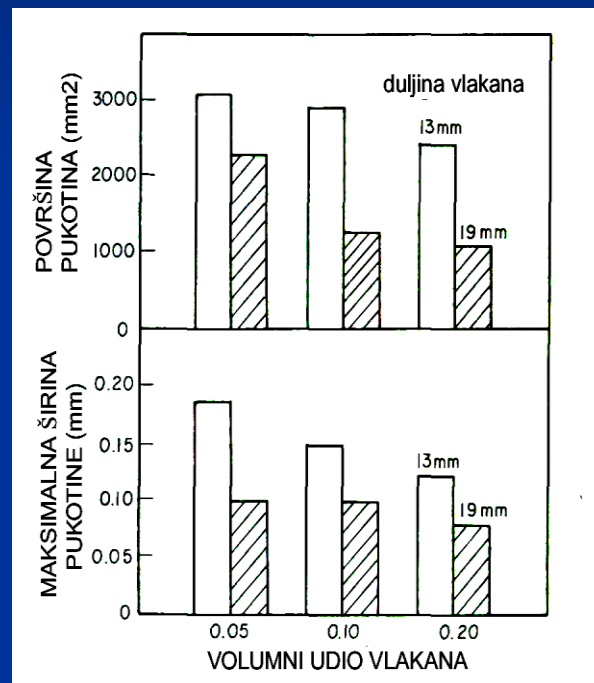
- Dodavanje polipropilenskih vlakana utječe na poboljšanje žilavosti

OTPORNOST NA UDAR MIKROARMIRANOG BETONA SA POLIPROPILENSKIM VLAKNIMA



- **Mab s polipropilenskim vlaknima djeluje na povećanje otpornosti na udar betona**

OTPORNOST NA STVARANJE PUKOTINA U SVJEŽEM STANJU KOD MIKROARMIRANOG BETONA SA POLIPROPILENSKIM VLAKNIMA



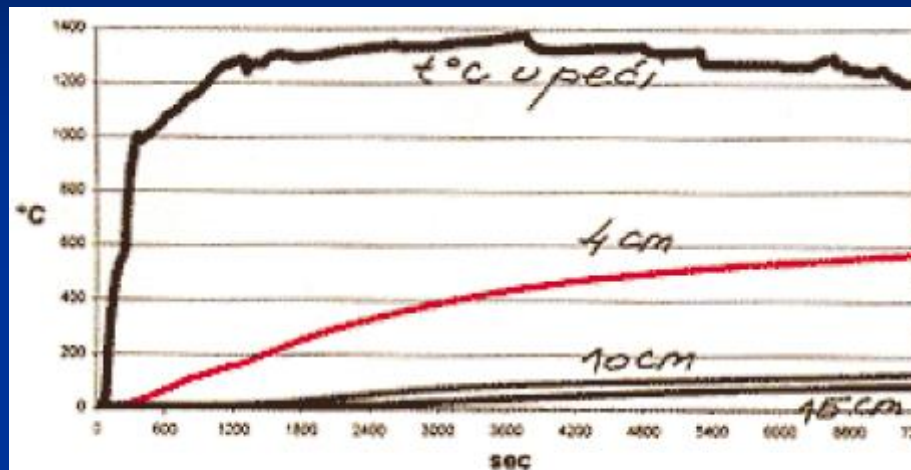
- MAB s polipropilenskim vlaknima je učinkovit u reduciranju pukotina koje se pojavljuju u mladom betonu

ISPITIVANJA POŽARNE OTPORNOSTI ZA TUNEL SV. ROK

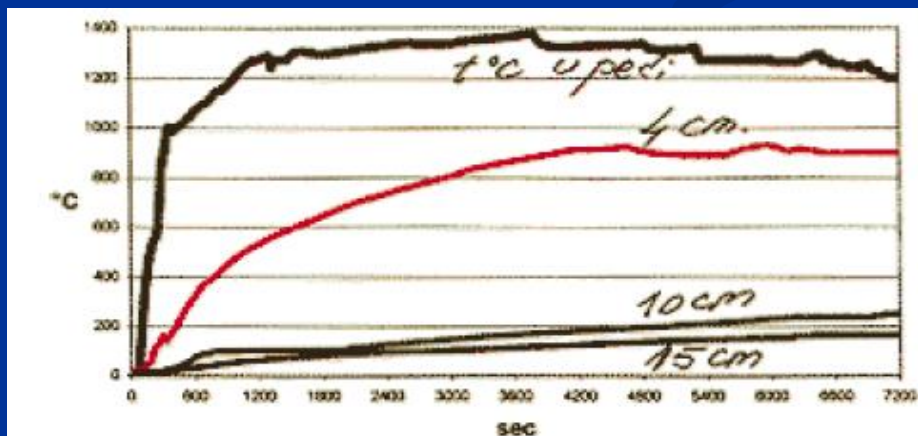
Br.	Opis uzorka	Čvrstoća na savijanje [N/mm ²]	Odnos [%]	Čvrstoća na pritisak [N/mm ²]	Odnos [%]
1.	bez PP vlakana	6,1	100	40,5	100
2.	sa PP vlakana	7,5	123	38,0	95



ISPITIVANJA POŽARNE OTPORNOSTI ZA TUNEL SV. ROK



Slika 6. Prikaz temperatura u uzorku betona sa PP vlaknima



Slika 7. Prikaz temperature u uzorku bez PP vlakana

TEHNOLOGIJA PROIZVODNJE

- **Sastav mikroarmiranog betona u odnosu na običan beton:**
 - **Veća količina cementa**
 - **Manja količina krupnog agregata**
 - **Veća količina sitnog agregata**
 - **Manje maksimalno zrno agregata**



Uzorak mikroarmiranog betona s malom količinom veziva i sitnog agregata

TEHNOLOGIJA UGRADNJE

- **Uzroci stvaranja grudvi vlakana:**
 - **Prevelika količina vlakana**
 - **Prekomjerno miješanje**
 - **Loše projektiran sastav betona**
 - **Prebrzo dodavanje vlakana u mješavinu male obradljivosti**
 - **Dodavanje vlakana prije ostalih komponenti betona**
 - **Miješanje u neadekvatnoj opremi.**

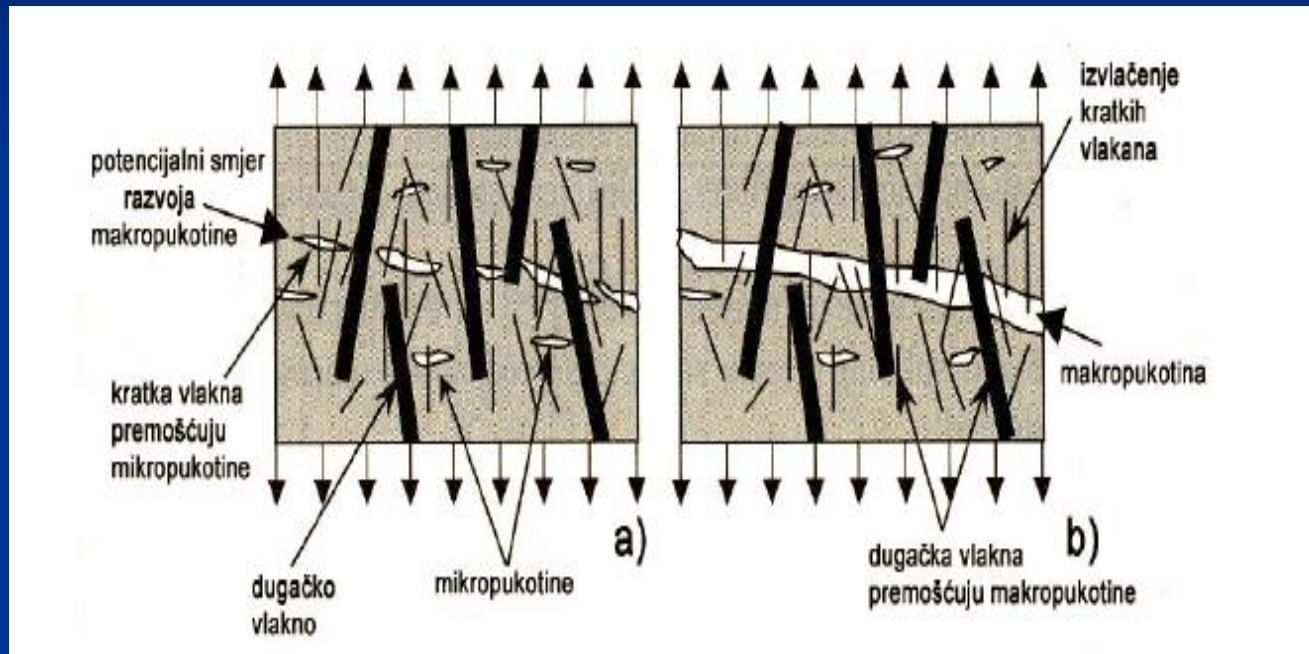


HIBRIDNI MIKROARMIRANI BETON

- **Hibridni mikroarmirani beton – mikroarmirani beton koji u svom sastavu ima dva ili više tipova vlakana različite veličine, oblika i posrijetla**
- **Kombiniranjem različitih vrsta čeličnih vlakana potrebna je manja količina vlakana da bi se postigla ista ili bolja mehanička svojstva nego u slučaju korištenja samo jedne vrste čeličnih vlakana**
- **Odabir vlakana u hibridnom mikroarmiranom betonu vršiti na temelju zahtjeva na koja svojstva betona želimo utjecati**



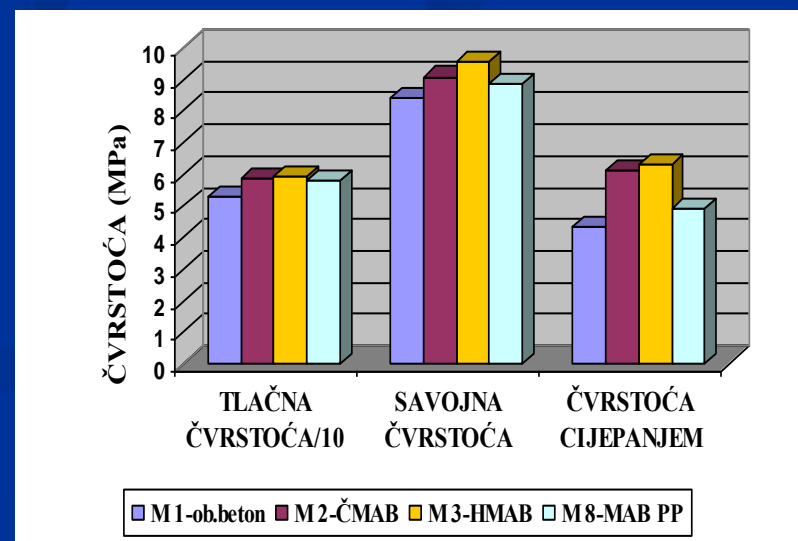
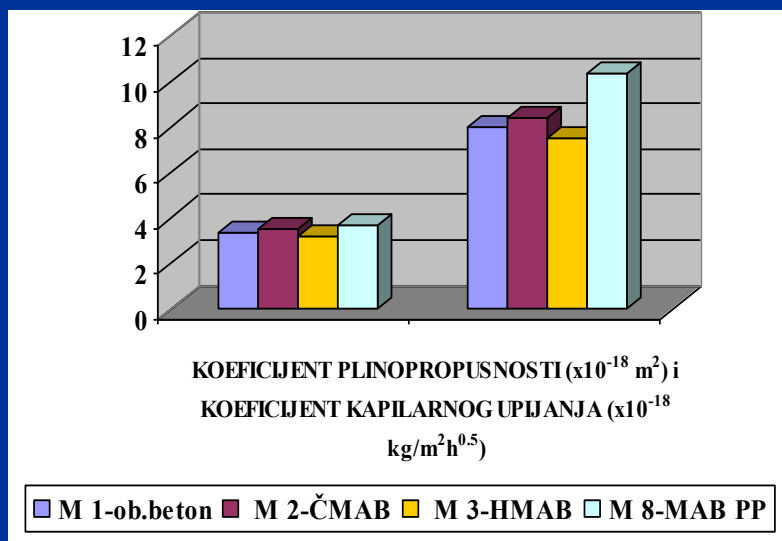
HIBRIDNI MIKROARMIRANI BETON S KRATKIM I DUGIM ČELIČNIM VLAKNIMA



- **Kratka čelična vlakna birati na način da imaju što veću specifičnu površinu**
- **Duga čelična vlakna trebaju posjedovati veliki koeficijent oblika**
- **Količinu i udio pojedinih čeličnih vlakana birati s obzirom na namjenu i obradljivost u svježem stanju**

HIBRIDNI MIKROARMIRANI BETON SA ČELIČNIM I POLIPROPILENSKIM VLAKNIMA

- Polipropilenska vlakna učinkovito djeluju na reduciranje pukotina u svježem betonu
- Čelična vlakna utječu na kontrolu pukotina i poboljšanje mehaničkih svojstava u očvrslom stanju



HIBRIDNI MIKROARMIRANI BETON SA ČELIČNIM VLAKNIMA

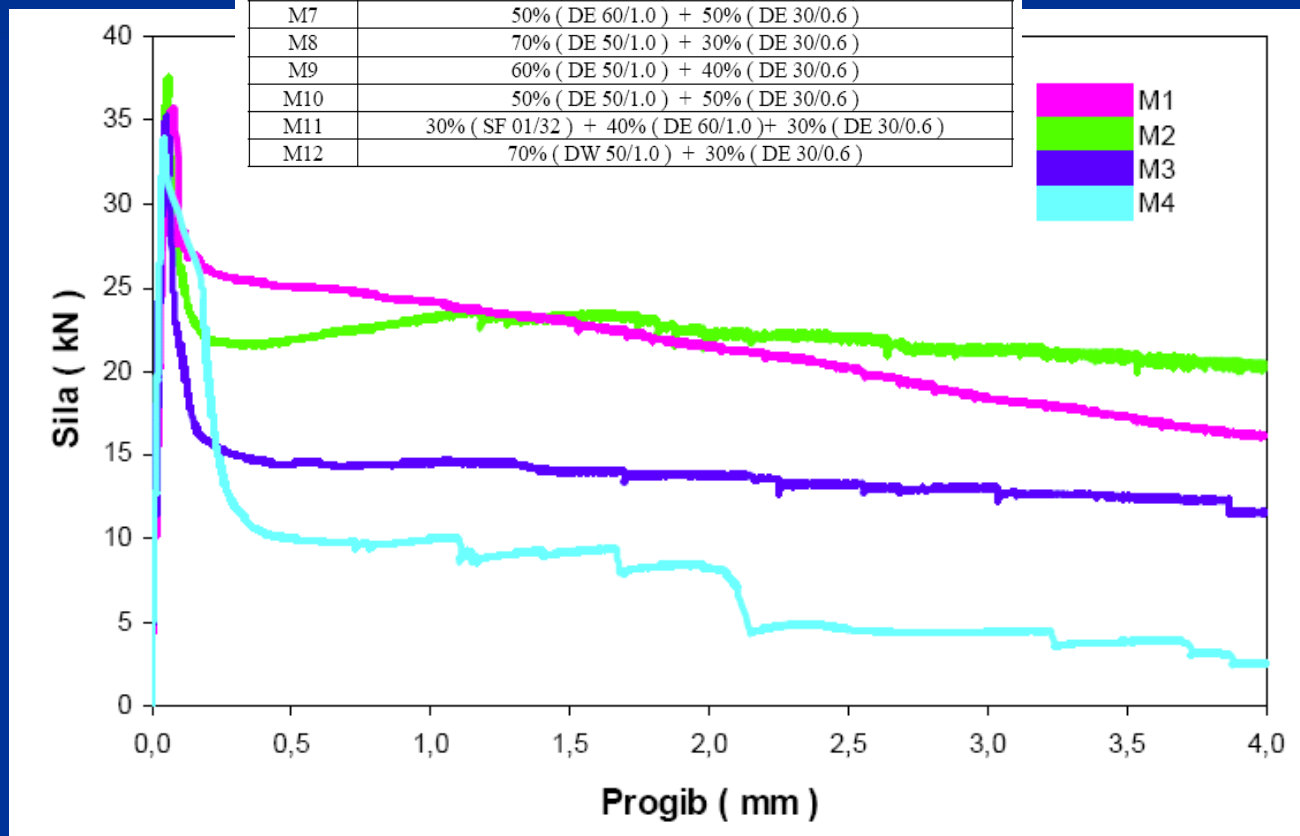
Komponenta	Masa (kg)
Cement	364
Voda	174
Superplastifikator	1.8
Agregat	1933
Čelična vlakna	30

Mješavina	Vrsta vlakana
M1	DE 30/0.6
M2	DE 60/1.0
M3	DE 50/1.0
M4	DW 50/1.0
M5	70% (DE 60/1.0) + 30% (DE 30/0.6)
M6	60% (DE 60/1.0) + 40% (DE 30/0.6)
M7	50% (DE 60/1.0) + 50% (DE 30/0.6)
M8	70% (DE 50/1.0) + 30% (DE 30/0.6)
M9	60% (DE 50/1.0) + 40% (DE 30/0.6)
M10	50% (DE 50/1.0) + 50% (DE 30/0.6)
M11	30% (SF 01/32) + 40% (DE 60/1.0) + 30% (DE 30/0.6)
M12	70% (DW 50/1.0) + 30% (DE 30/0.6)



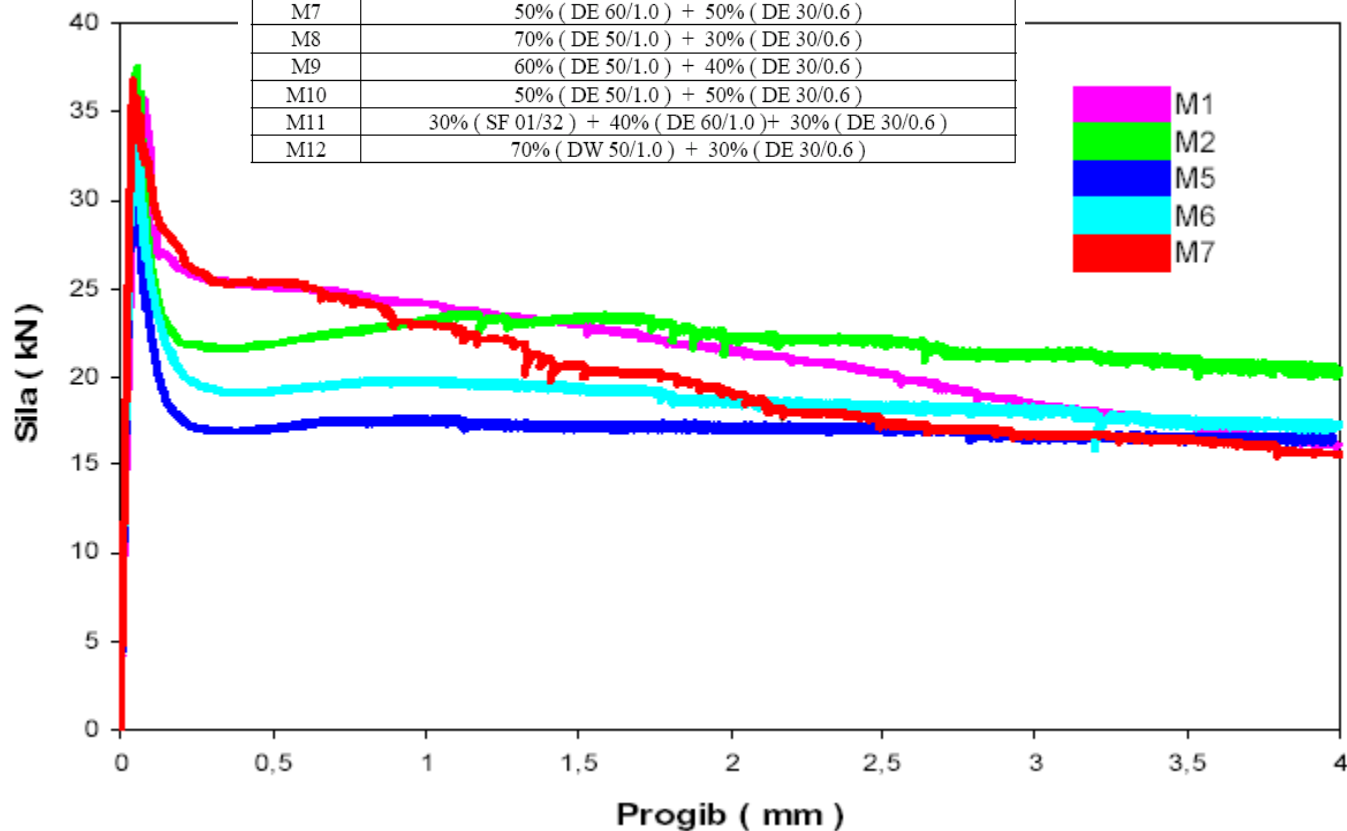
HIBRIDNI MIKROARMIRANI BETON SA ČELIČNIM VLAKNIMA

Mješavina	Vrsta vlakana
M1	DE 30/0.6
M2	DE 60/1.0
M3	DE 50/1.0
M4	DW 50/1.0
M5	70% (DE 60/1.0) + 30% (DE 30/0.6)
M6	60% (DE 60/1.0) + 40% (DE 30/0.6)
M7	50% (DE 60/1.0) + 50% (DE 30/0.6)
M8	70% (DE 50/1.0) + 30% (DE 30/0.6)
M9	60% (DE 50/1.0) + 40% (DE 30/0.6)
M10	50% (DE 50/1.0) + 50% (DE 30/0.6)
M11	30% (SF 01/32) + 40% (DE 60/1.0) + 30% (DE 30/0.6)
M12	70% (DW 50/1.0) + 30% (DE 30/0.6)



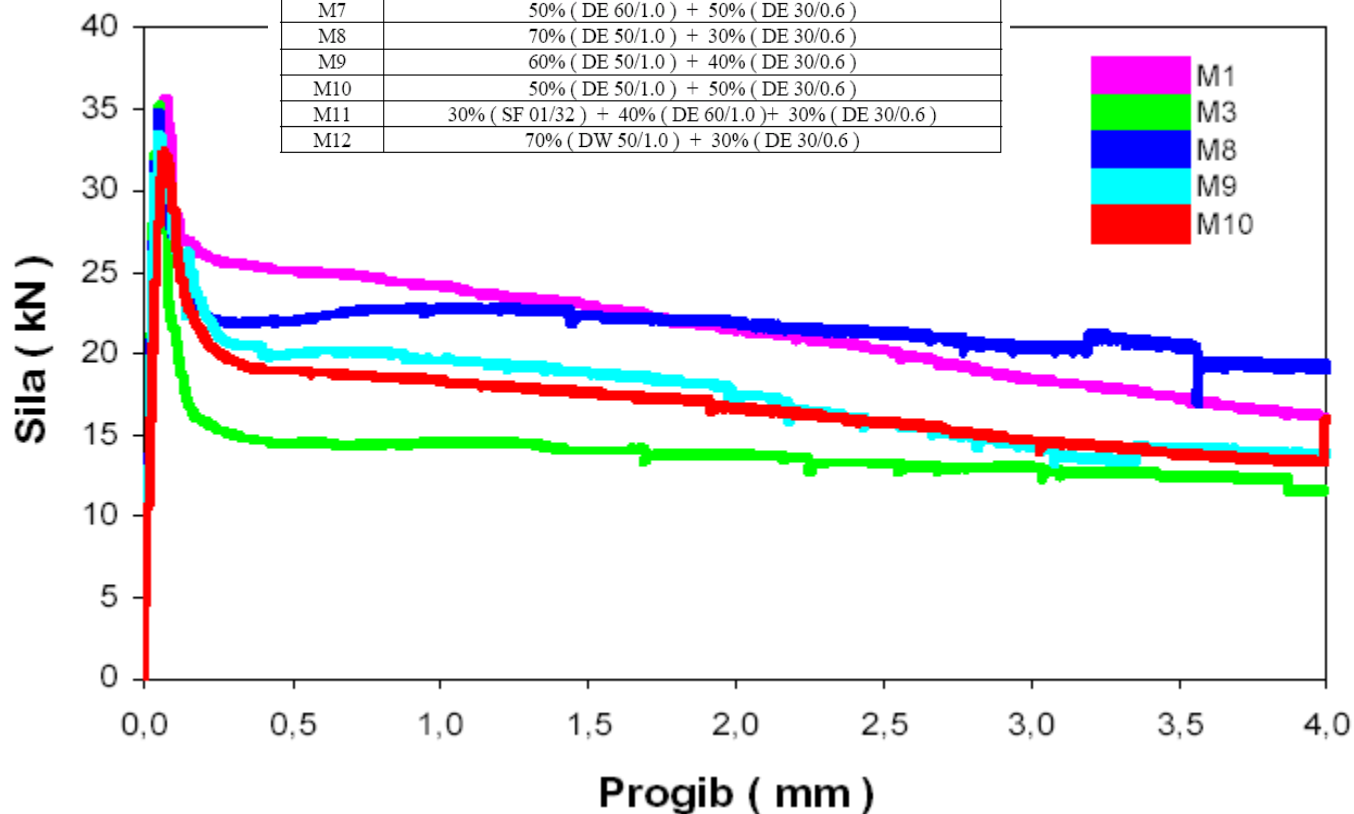
HIBRIDNI MIKROARMIRANI BETON SA ČELIČNIM VLAKNIMA

Mješavina	Vrsta vlakana
M1	DE 30/0.6
M2	DE 60/1.0
M3	DE 50/1.0
M4	DW 50/1.0
M5	70% (DE 60/1.0) + 30% (DE 30/0.6)
M6	60% (DE 60/1.0) + 40% (DE 30/0.6)
M7	50% (DE 60/1.0) + 50% (DE 30/0.6)
M8	70% (DE 50/1.0) + 30% (DE 30/0.6)
M9	60% (DE 50/1.0) + 40% (DE 30/0.6)
M10	50% (DE 50/1.0) + 50% (DE 30/0.6)
M11	30% (SF 01/32) + 40% (DE 60/1.0) + 30% (DE 30/0.6)
M12	70% (DW 50/1.0) + 30% (DE 30/0.6)

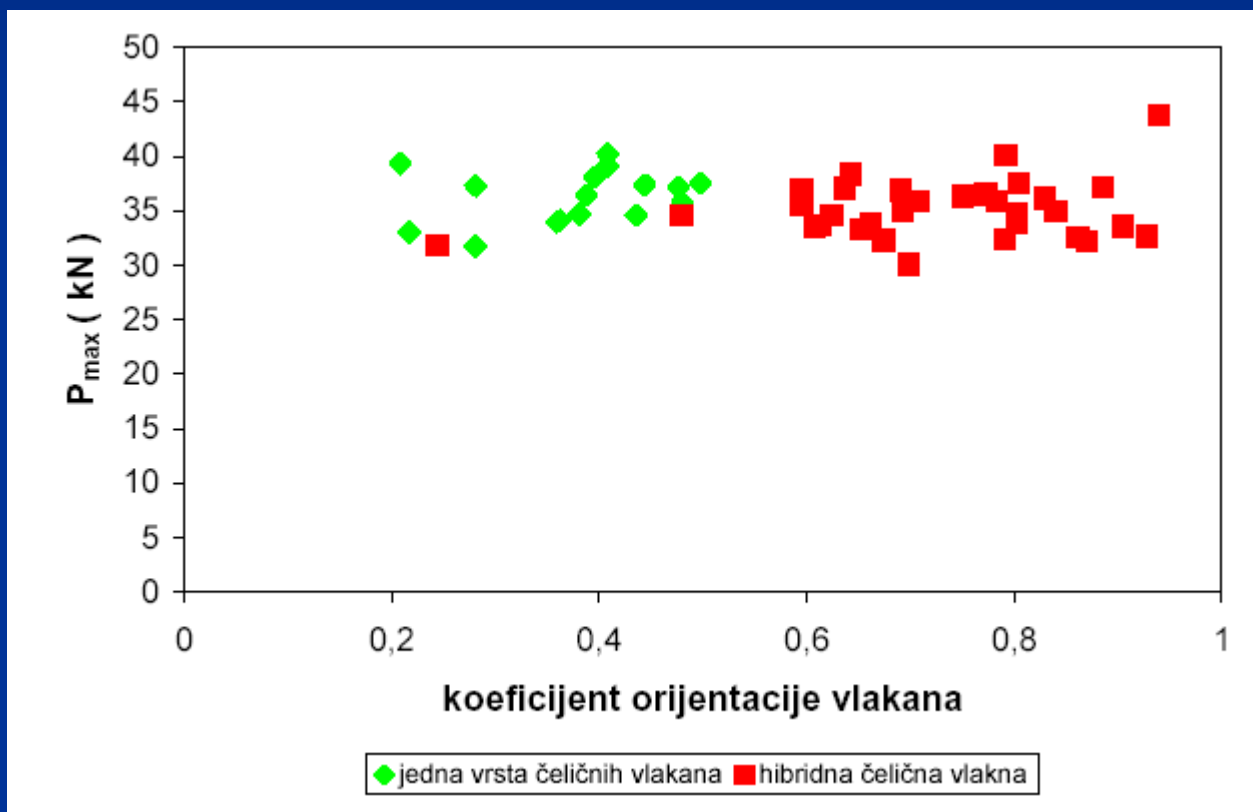


HIBRIDNI MIKROARMIRANI BETON SA ČELIČNIM VLAKNIMA

Mješavina	Vrsta vlakana
M1	DE 30/0.6
M2	DE 60/1.0
M3	DE 50/1.0
M4	DW 50/1.0
M5	70% (DE 60/1.0) + 30% (DE 30/0.6)
M6	60% (DE 60/1.0) + 40% (DE 30/0.6)
M7	50% (DE 60/1.0) + 50% (DE 30/0.6)
M8	70% (DE 50/1.0) + 30% (DE 30/0.6)
M9	60% (DE 50/1.0) + 40% (DE 30/0.6)
M10	50% (DE 50/1.0) + 50% (DE 30/0.6)
M11	30% (SF 01/32) + 40% (DE 60/1.0) + 30% (DE 30/0.6)
M12	70% (DW 50/1.0) + 30% (DE 30/0.6)



HIBRIDNI MIKROARMIRANI BETON SA ČELIČNIM VLAKNIMA



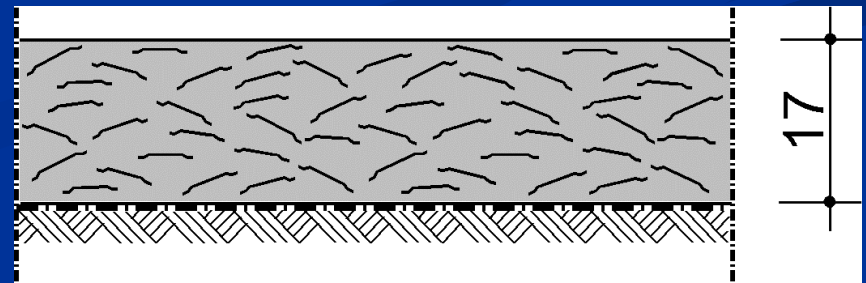
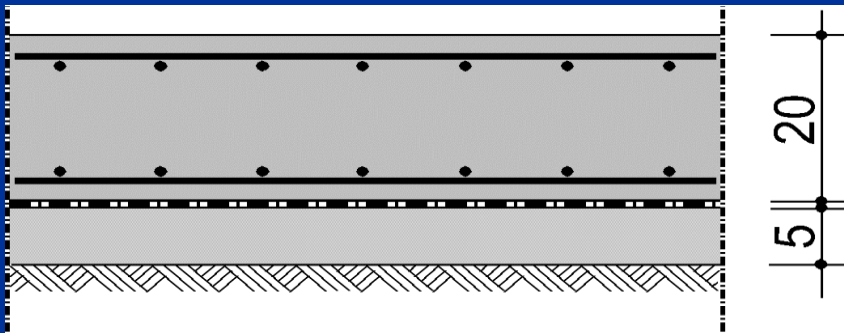
HIBRIDNI MIKROARMIRANI BETON SA ČELIČNIM VLAKNIMA

Eksperimentalni rad proveden je na 12 mješavina mikroarmiranog betona s 30 kg/m³ različitih čeličnih vlakana.

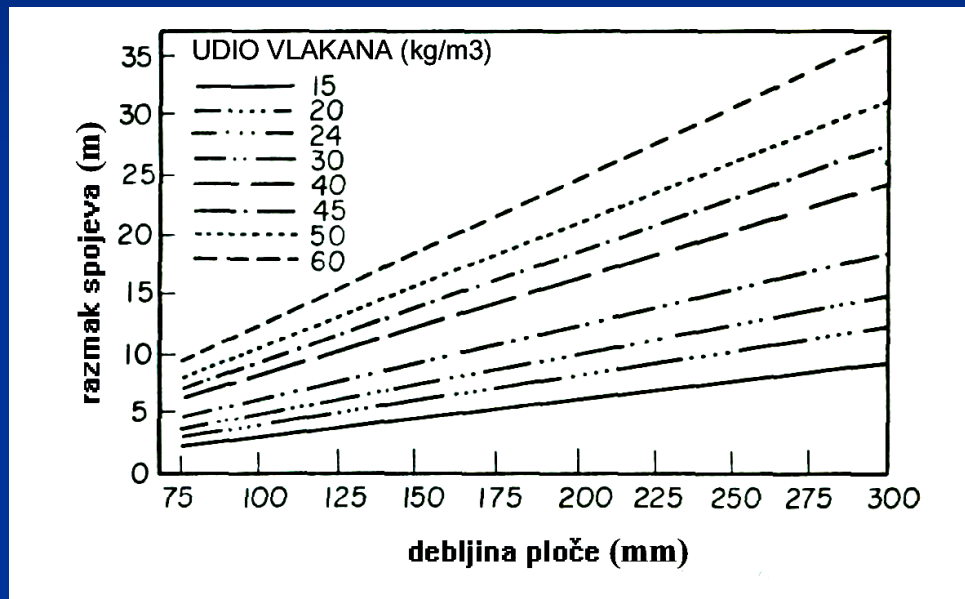
- **optimalna mješavina mikroarmiranog betona s 30 kg/m³ čeličnih vlakana sadrži kombinaciju od po 50 % čeličnih vlakana sa zakrivljenim krajevima duljine 30 i 60 mm,**
- **uočeno je postojanje sinergijskog efekta hibridnih čeličnih vlakana na ponašanje mikroarmiranog betona pod savojnim opterećenjem u očvrstulom stanju, pod sinergijskim efektom se podrazumijeva da se korištenjem čeličnih vlakna različite duljine, a u istoj količini, dobivaju bolja svojstva nego korištenjem samo jedne vrste čeličnih vlakana,**
- **hibridna čelična vlakna imaju veći srednji koeficijent orijentacije vlakana (0.72) nego u slučaju kada se koristi samo jedna vrsta čeličnih vlakana (0.38),**
- **koeficijent orijentacije vlakana u mikroarmiranom betonu utječe na povećanje ekvivalentne čvrstoće pri savijanju za dokaz nosivosti i dokaz uporabljivosti konstruktivnih elemenata od mikroarmiranog betona.**

PRIMJENA MIKROARMIRANOG BETONA SA ČELIČNIM VLAKNIMA

➤ Industrijski podovi



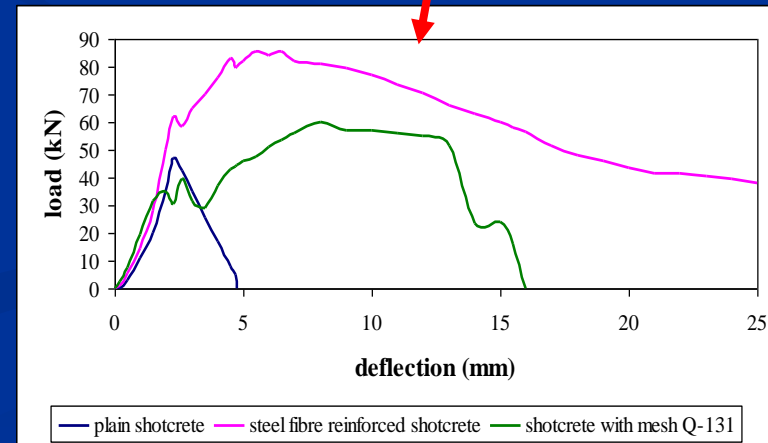
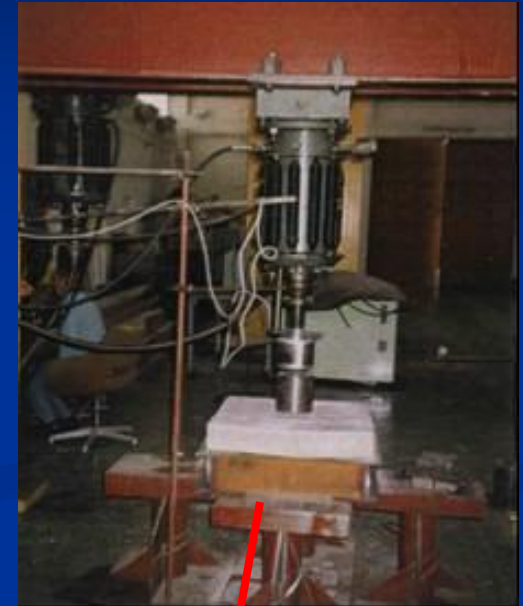
PRIMJENA MIKROARMIRANOG BETONA SA ČELIČNIM VLAKNIMA



Razmak spojeva kod industrijskih podova u ovisnosti o debljini ploče i količini čeličnih vlakana

PRIMJENA MIKROARMIRANOG BETONA

➤ Tunelogradnja



PRIMJENA MIKROARMIRANOG BETONA

- **Prednosti primjene mikroarmiranog mlaznog betona s čeličnim vlaknima u odnosu na mlazni beton armiran s armaturnom mrežom su slijedeće:**
 - **manji utrošak mlaznog betona (zbog potrebne manje debljine)**
 - **armaturna mreža se uvijek postavlja na određenoj udaljenosti od stijene te je potrebno više mlaznog betona da se armaturna mreža prekrije**
 - **manji utrošak rada zbog nepostavljanja armaturnih mreža**
 - **korištenjem MAMB bolje se slijedi konfiguracija iskopa tunela**
 - **rad s MAMB je sigurniji jer se armaturne mreže postavljaju u uvjetima nepotpune stabilizacije podzemnog iskopa**
 - **postigne se višestruka ušteda u vremenu korištenjem MAMB-a radi bržeg napredovanja radova na osiguranju tunelskog iskopa**
 - **rad u ograničenom i skučenom prostoru lakše je organizirati uporabom mikroarmiranog mlaznog betona**

PRIMJENA MIKROARMIRANOG BETONA

- Aerodromi
- Ploče mostova
- Kolničke konstrukcije



PRIMJENA MIKROARMIRANOG BETONA

- Rezervoari
- Bazeni
- Pomorske građevine

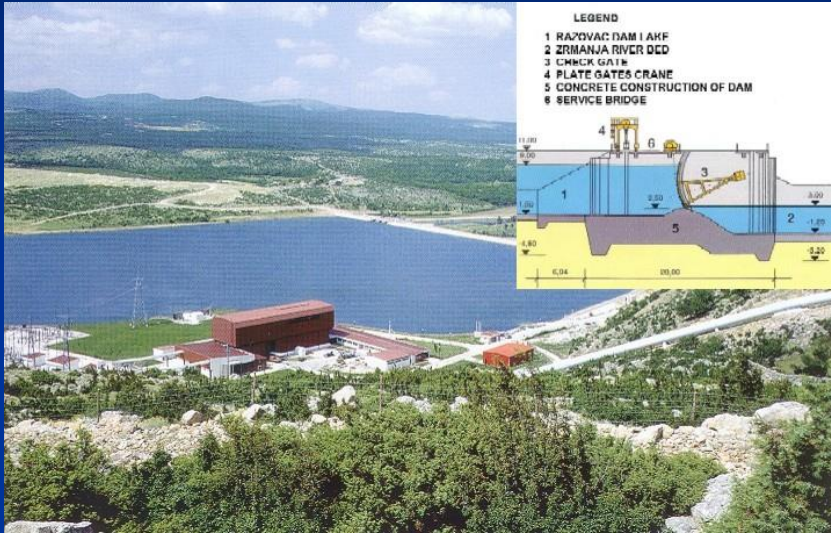


PRIMJENA MIKROARMIRANOG BETONA

➤ Sanacije armiranobetonskih konstrukcija



SANACIJA SLAPIŠTA RHE VELEBIT



Component	Amount for 1 m ³ of concrete
Cement CEM II/A-M (S-LL) 42,5 N	450 kg
Crushed aggregate (limestone)	1752 kg
Fraction 0-2 mm	263 kg (15 %)
Fraction 0-4 mm	613 kg (35 %)
Fraction 4-8 mm	876 kg (50 %)
Water	162 lit
Superplasticizer (polycarboxilate based)	3.6 lit
Retarding agent	3.6 lit
Polymer additive - styrene butadiene latex	12 lit
Fibrillated polypropylene fibres l = 20 mm	1.8 kg
Water/cement ratio	0.36



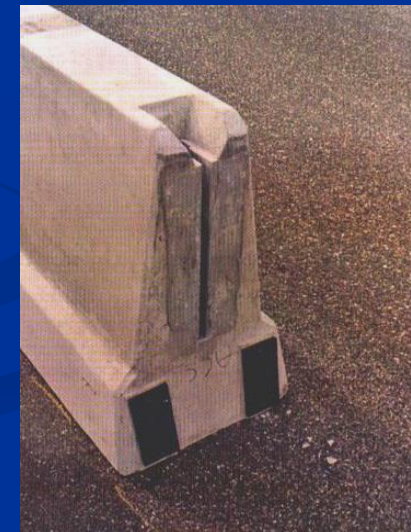
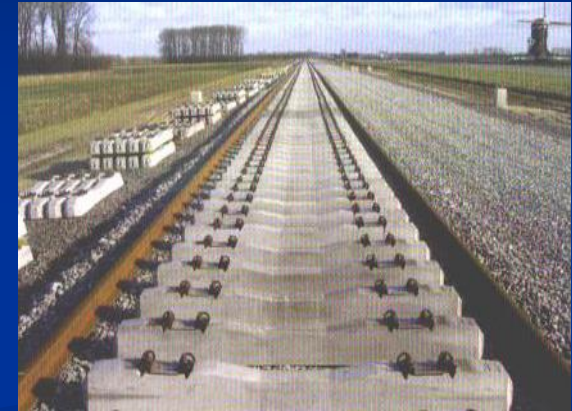
Property tested	Test method	Test average value
28 day compressive strength	HRN EN 12390-4	64,4 MPa
90 day compressive strength	HRN EN 12390-4	78,1 MPa
Bending strength	HRN EN 12390-5	6,4 MPa
Freeze-thaw resistance with using of deicing salts	HRN.U.M1.055	Weight loss 0.014 mg/mm ²
Water permeability	HRN EN 12390-8	Water penetration depth 7 mm
Static modulus of elasticity	HRN.U.M1.025	42,0 GPa
Pull-off adhesion	HRN EN 1542	> 1,5 MPa

PREDNOSTI MIKROARMIRANOG BETONA ZA PROIZVODNJU PREDGOTOVLJENIH ELEMENATA

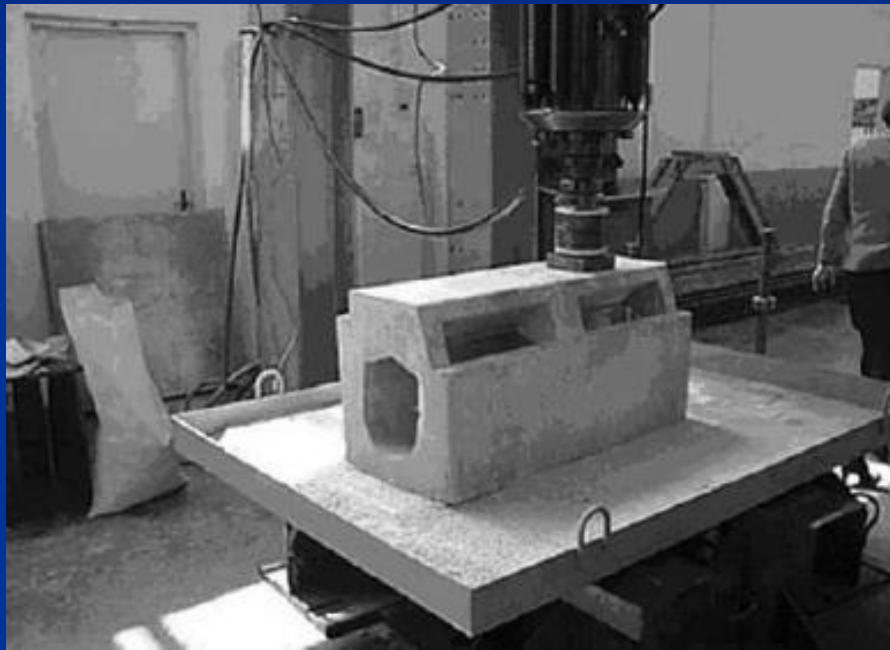
- **bolja otpornost na oštećenja predgotovljenih elemenata koja se javljaju tijekom skladištenja, transporta i montaže**
- **veća trajnost predgotovljenih elemenata**
- **manje dimenzije predgotovljenih elemenata**
- **zamjena za dio ili cjelokupnu količinu armature**
- **smanjivanje rada na postavljanju armature**

PRIMJENA MIKROARMIRANOG BETONA SA ČELIČNIM VLAKNIMA ZA PREDGOTOVLJENE ELEMENTE

- fasadni paneli
- krovni nosači
- željeznički pragovi
- tunelski segmenti
- cestovni elementi
- betonske cijevi
- garaže
- zamjena za dio armature u konstruktivnim elementima itd.

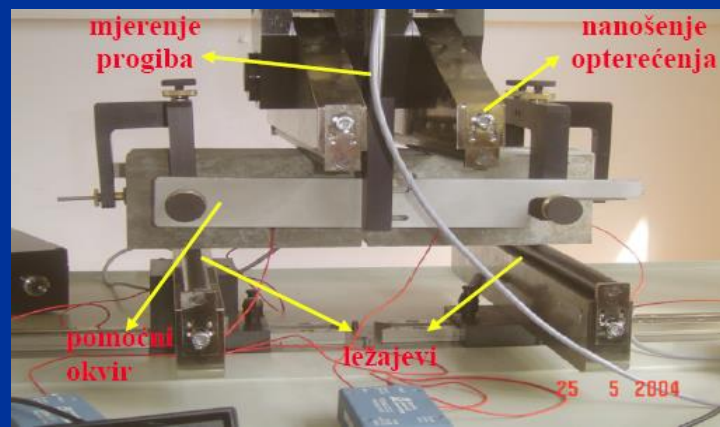
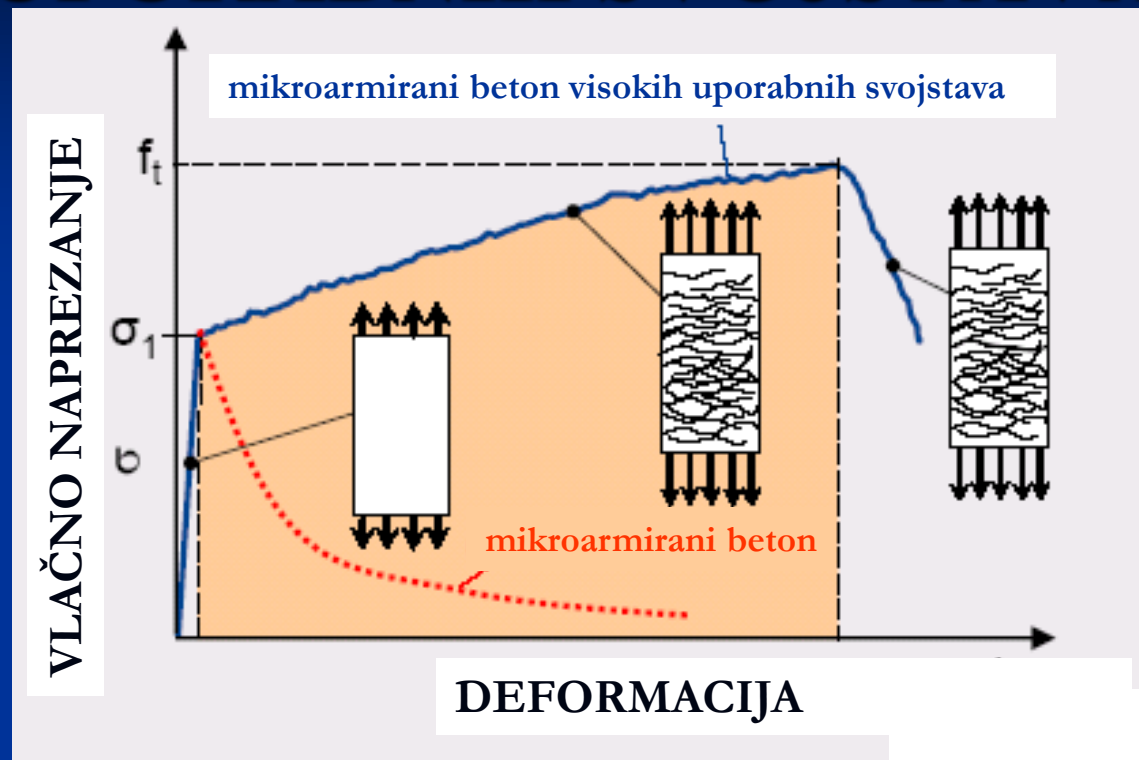


PRIMJENA U HRVATSKOJ

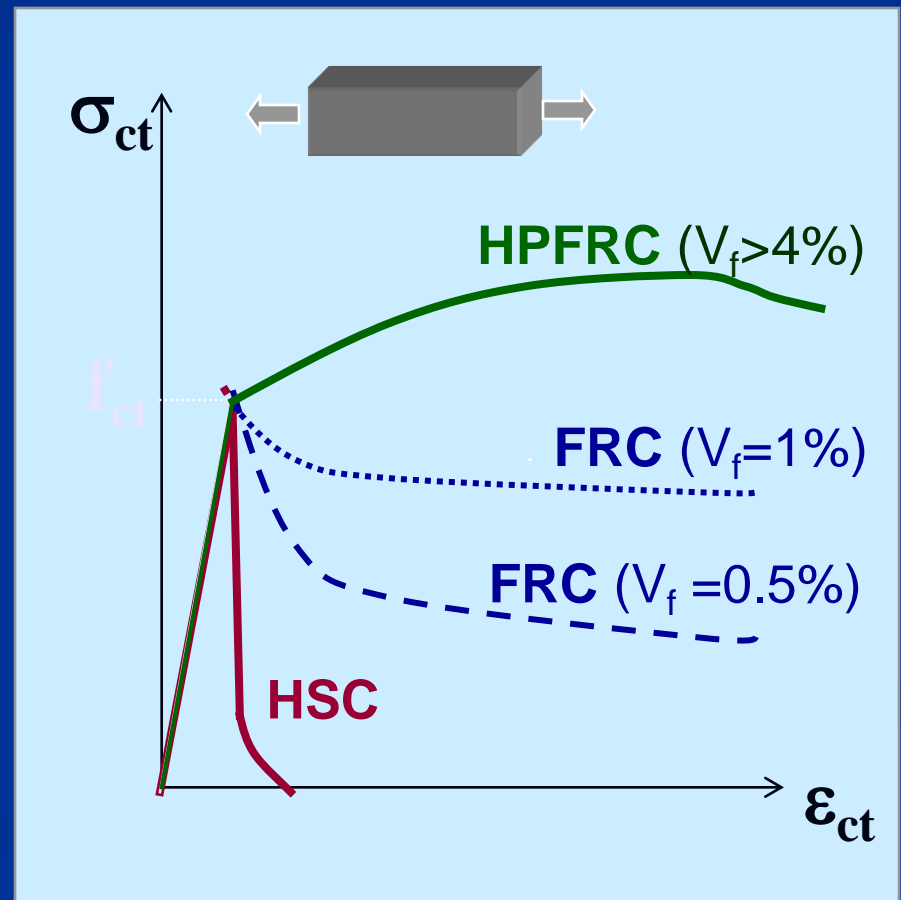
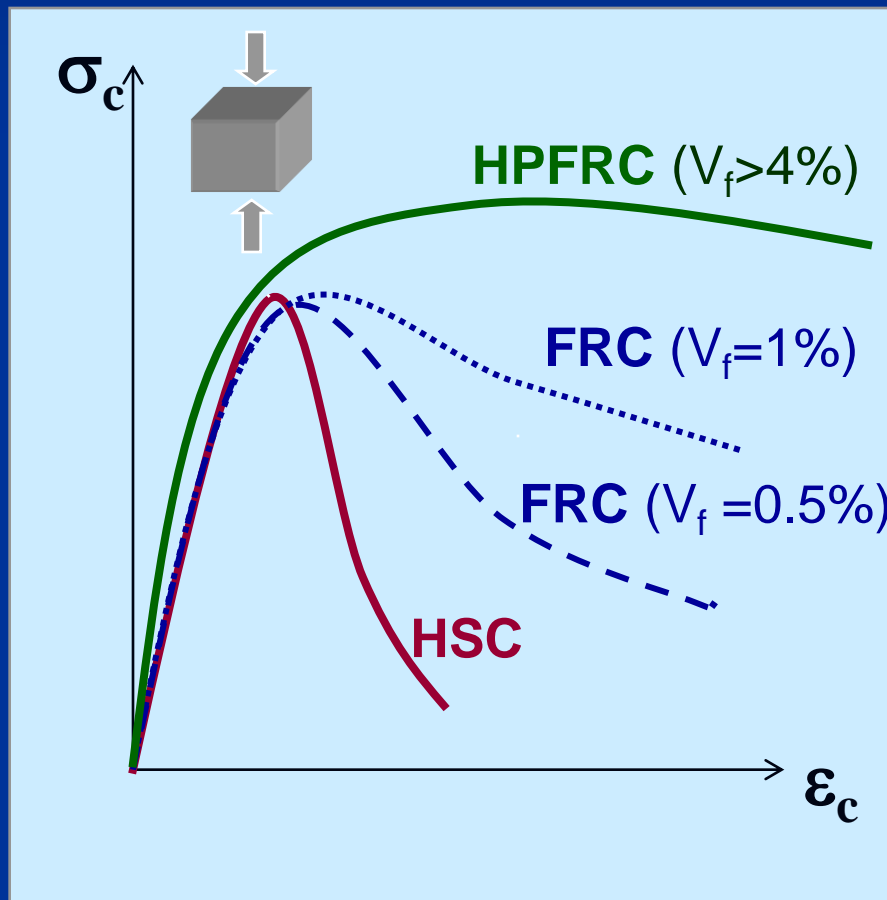


MIKROARMIRANI BETONI VISOKIH UPORABNIH SVOJSTAVA

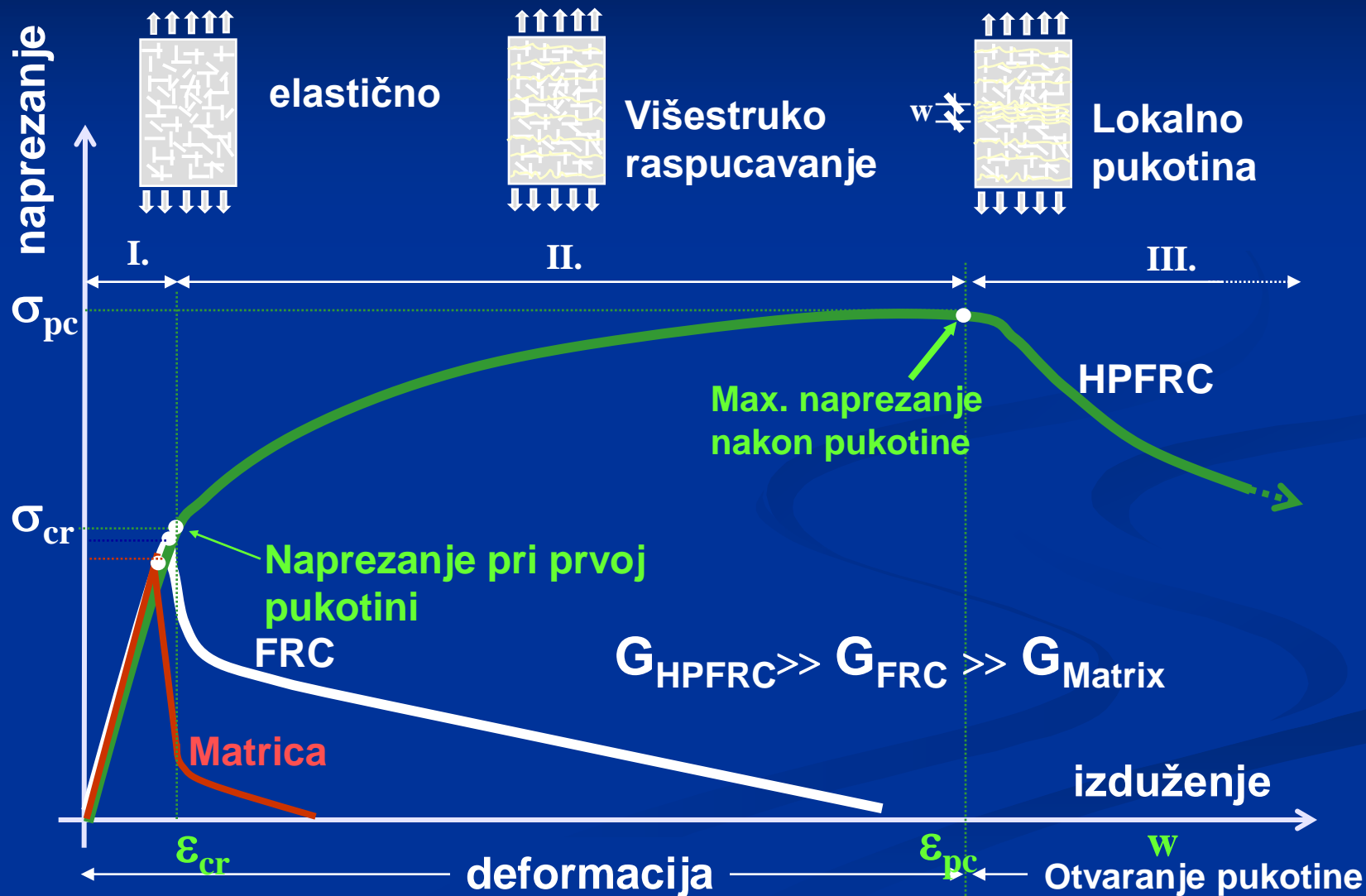
UPORABNIH SVOJSTAVA

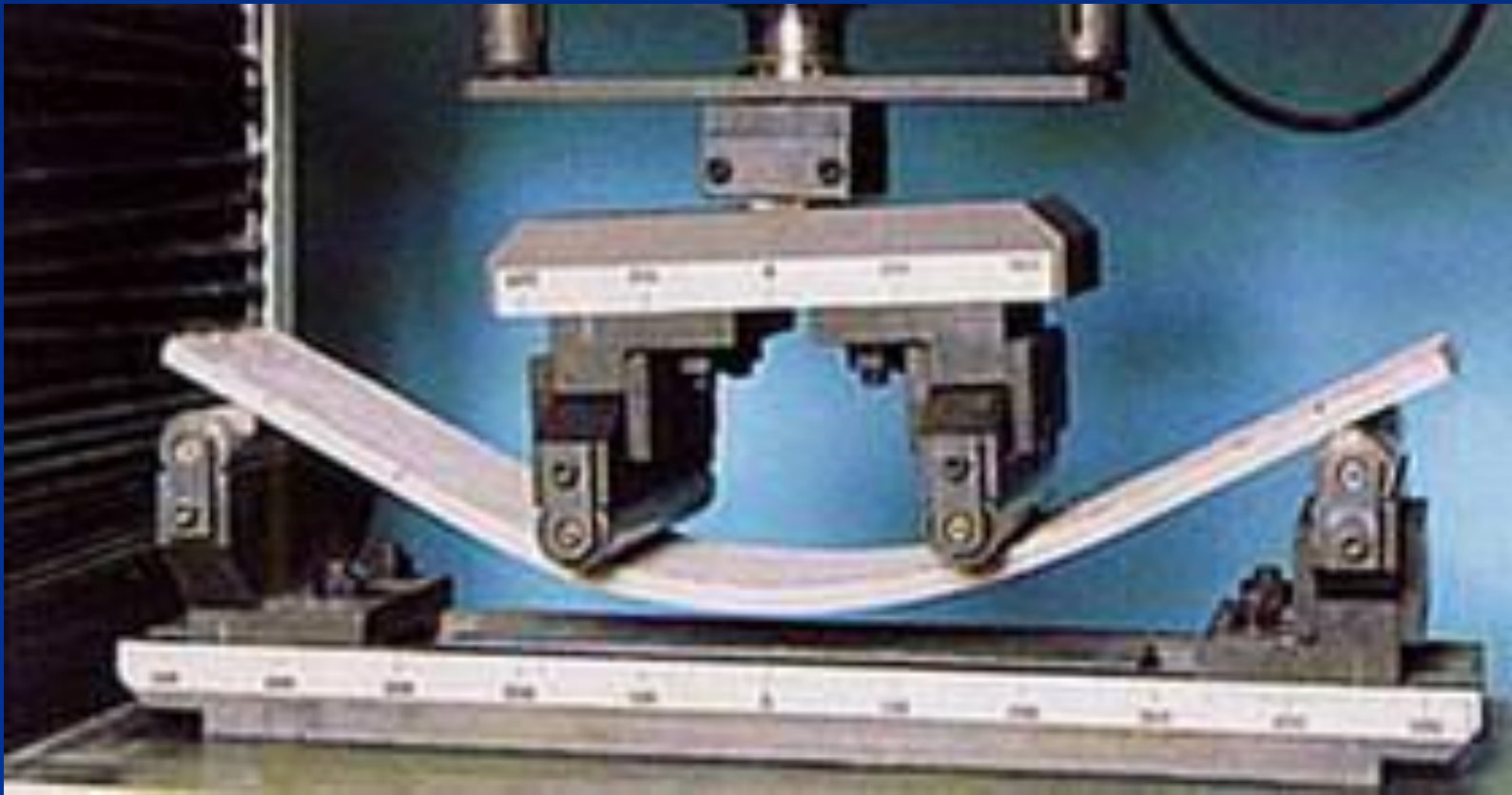


USPOREDBA MEHANIČKIH SVOJSTAVA

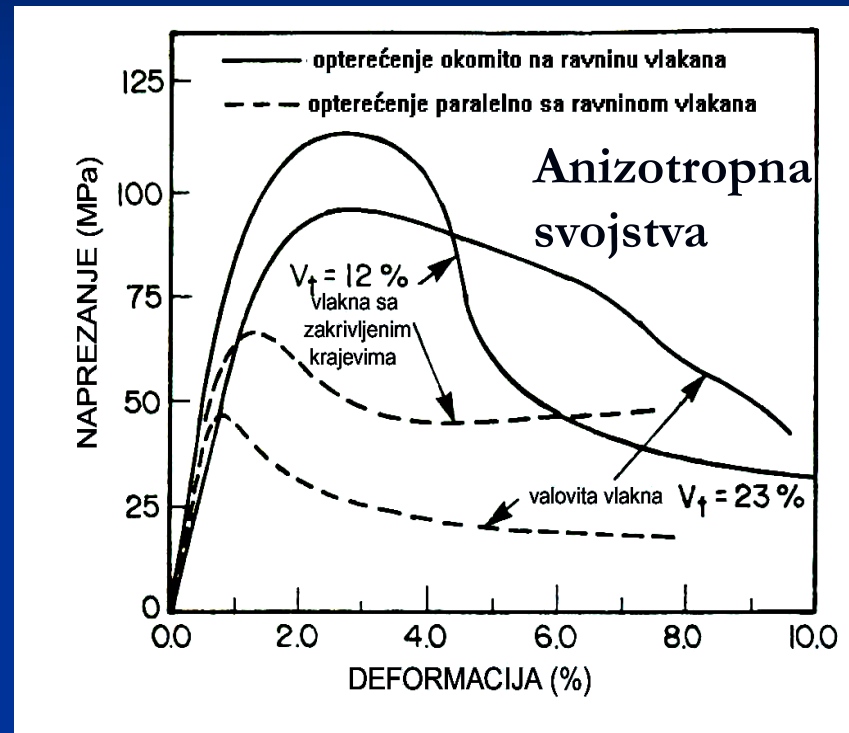
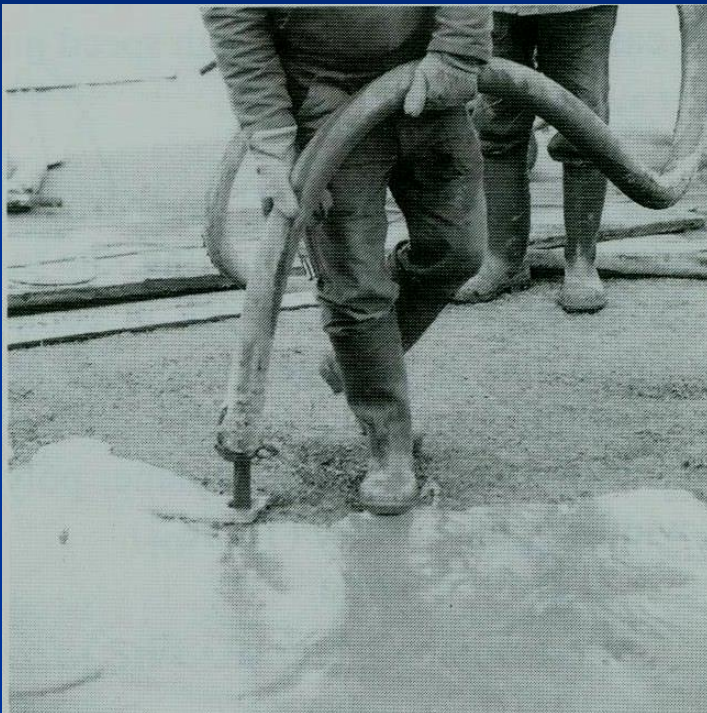


USPOREDBA MEHANIČKIH SVOJSTAVA





SIFCON tehnologija

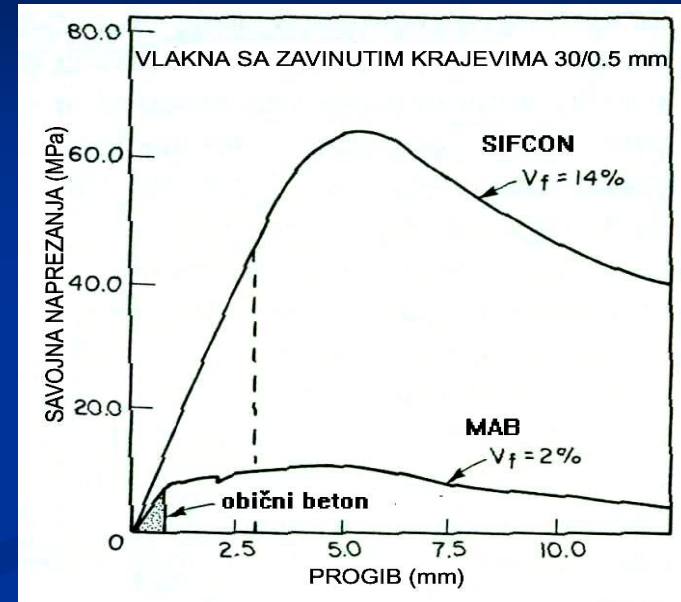
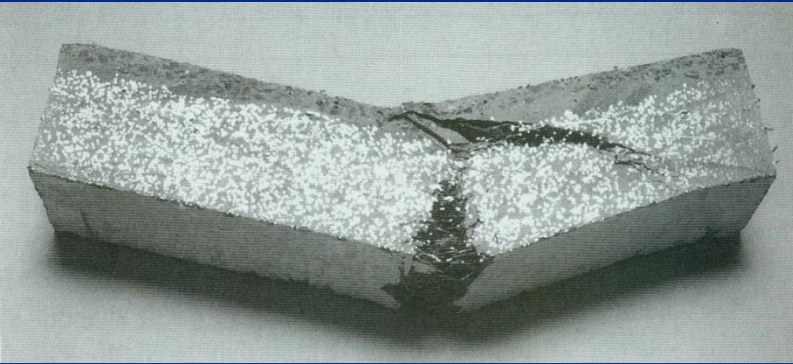


- SIFCON (Slurry Infiltrated Fibered Concrete) je prepaktni mikroarmirani beton s velikom količinom čeličnih vlakana (5-27 vol.%)
- Svojstva SIFCON-a ovise o kvaliteti matrice, vrsti i količini čeličnih vlakana (uglavnom su u horizontalnoj ravnini)

SIFCON



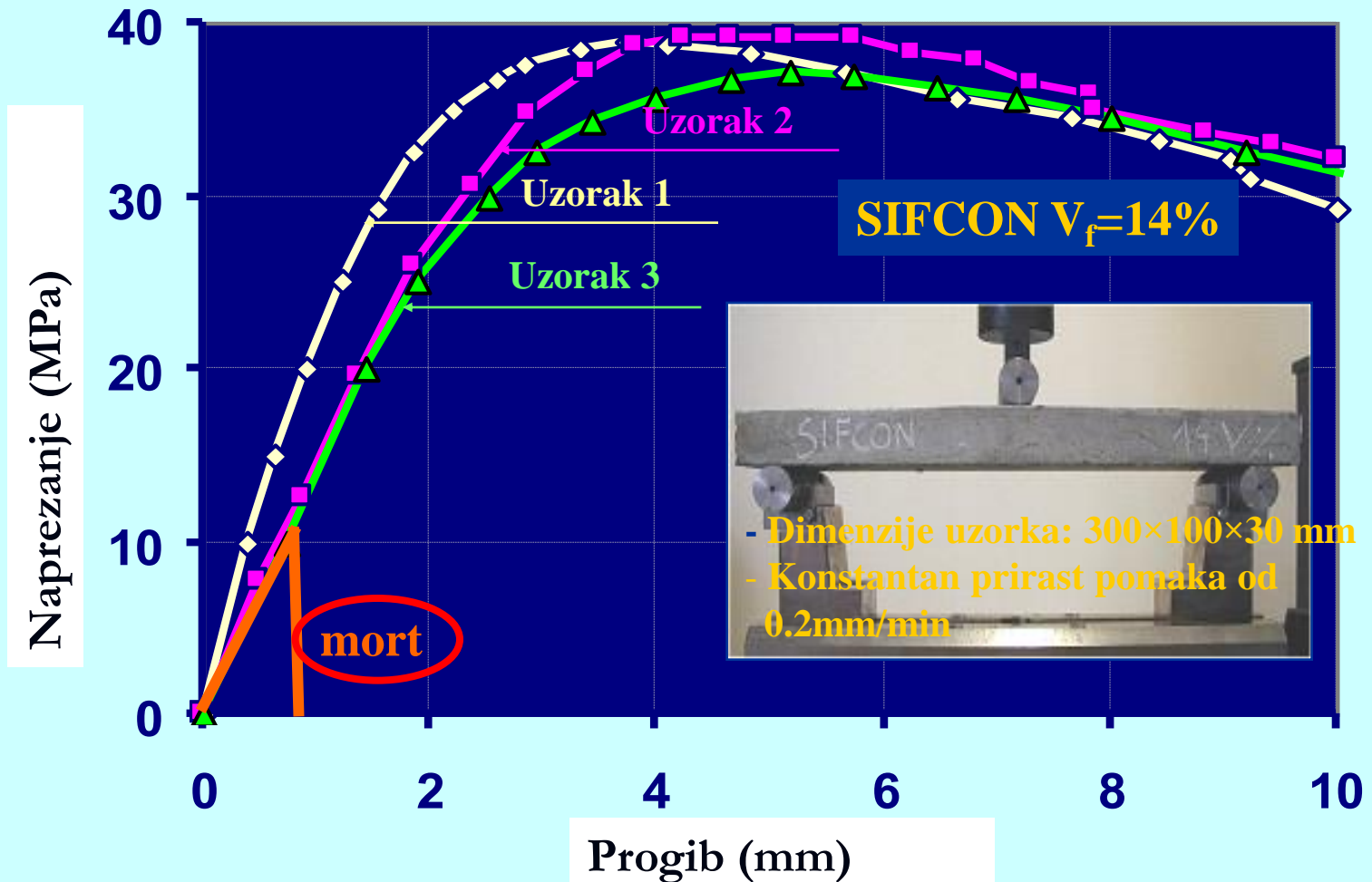
SIFCON tehnologija

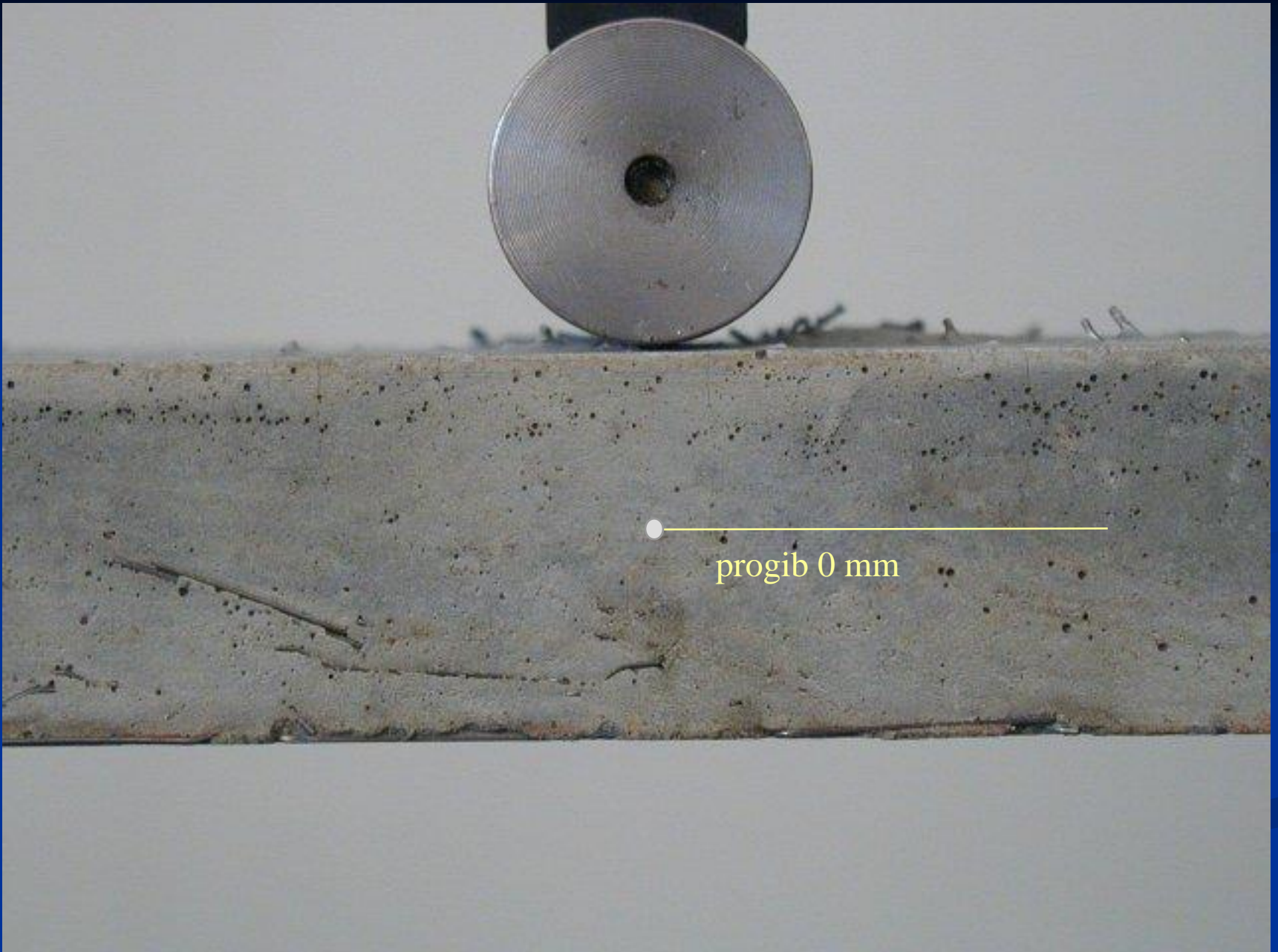


Izgled uzoraka SIFCON-a nakon ispitivanja

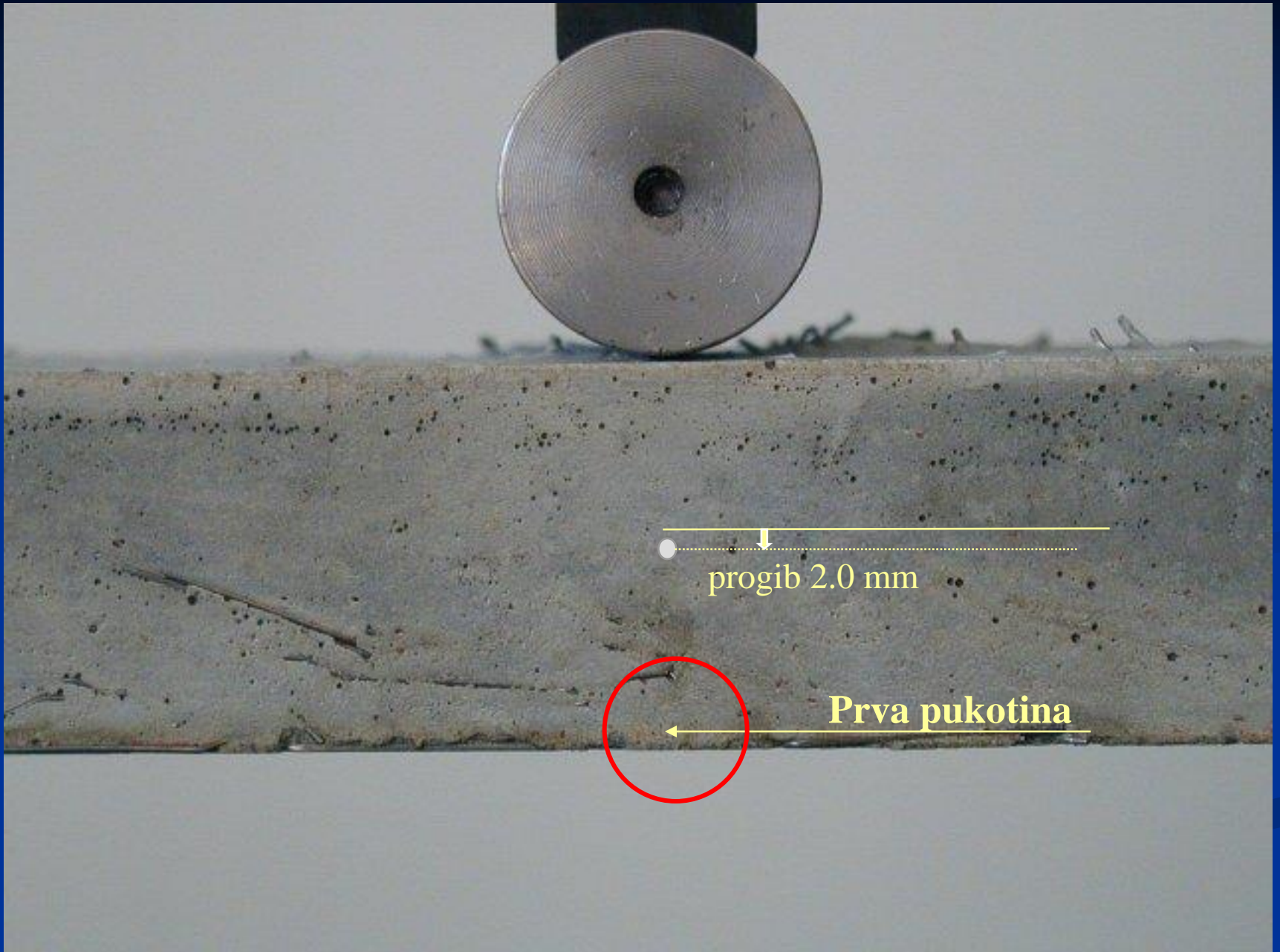
- **Specifična tehnologija ugradnje koja omogućuje korištenje velike količine čeličnih vlakana**
- **Tlačna čvrstoća je povećana zbog velike količine vlakana**
- **Modul elastičnosti je manji nego kod običnog betona (koristi se mort za popunjavanje prostora među vlaknima)**
- **Zbog sposobnosti apsorpcije velike količine energije prikladna uporaba je za konstrukcije izložene djelovanju udarnog ili seizmičkog opterećenja, te sanacije**

SIFCON tehnologija





progib 0 mm



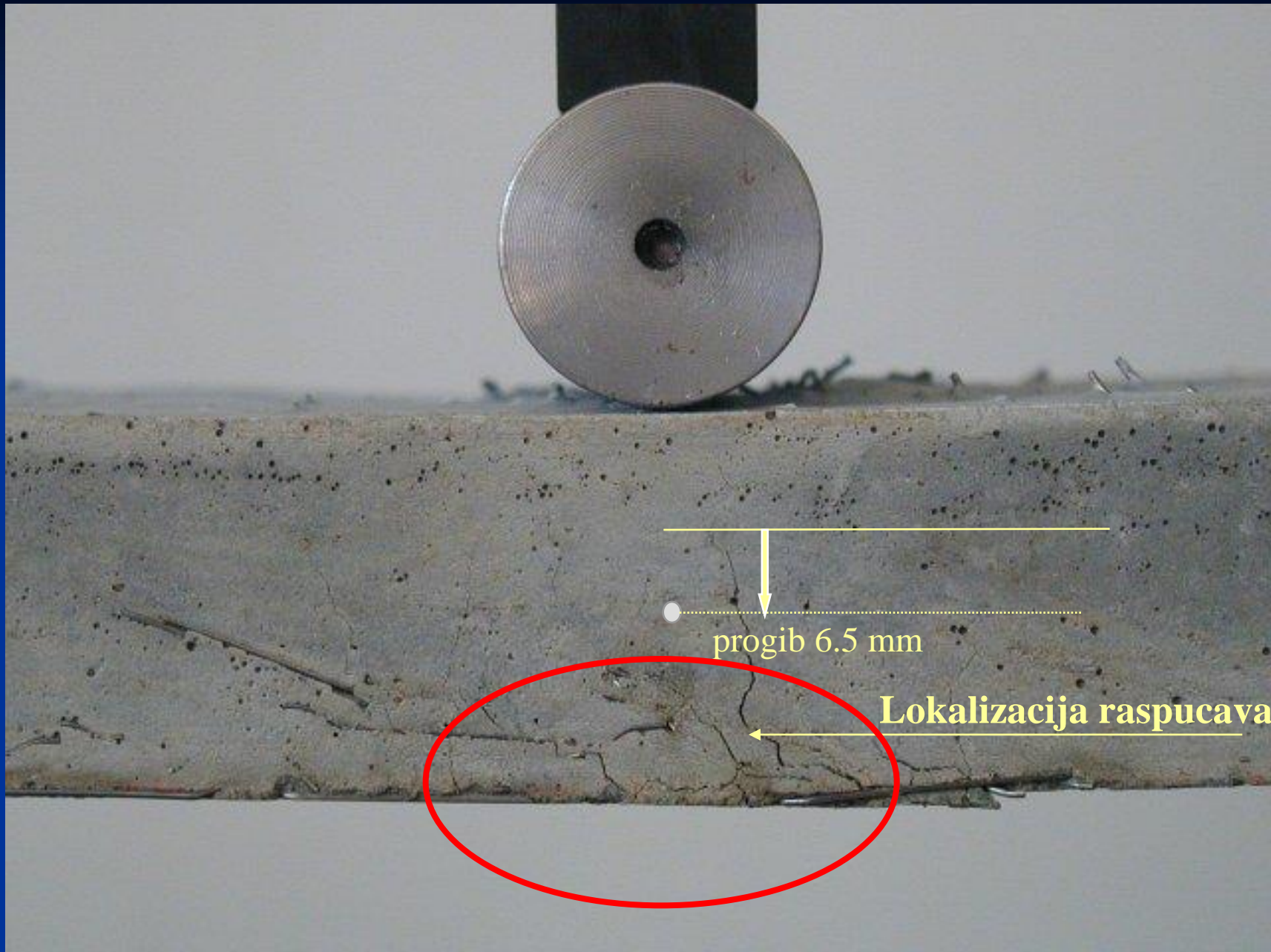
progib 2.0 mm

Prva pukotina



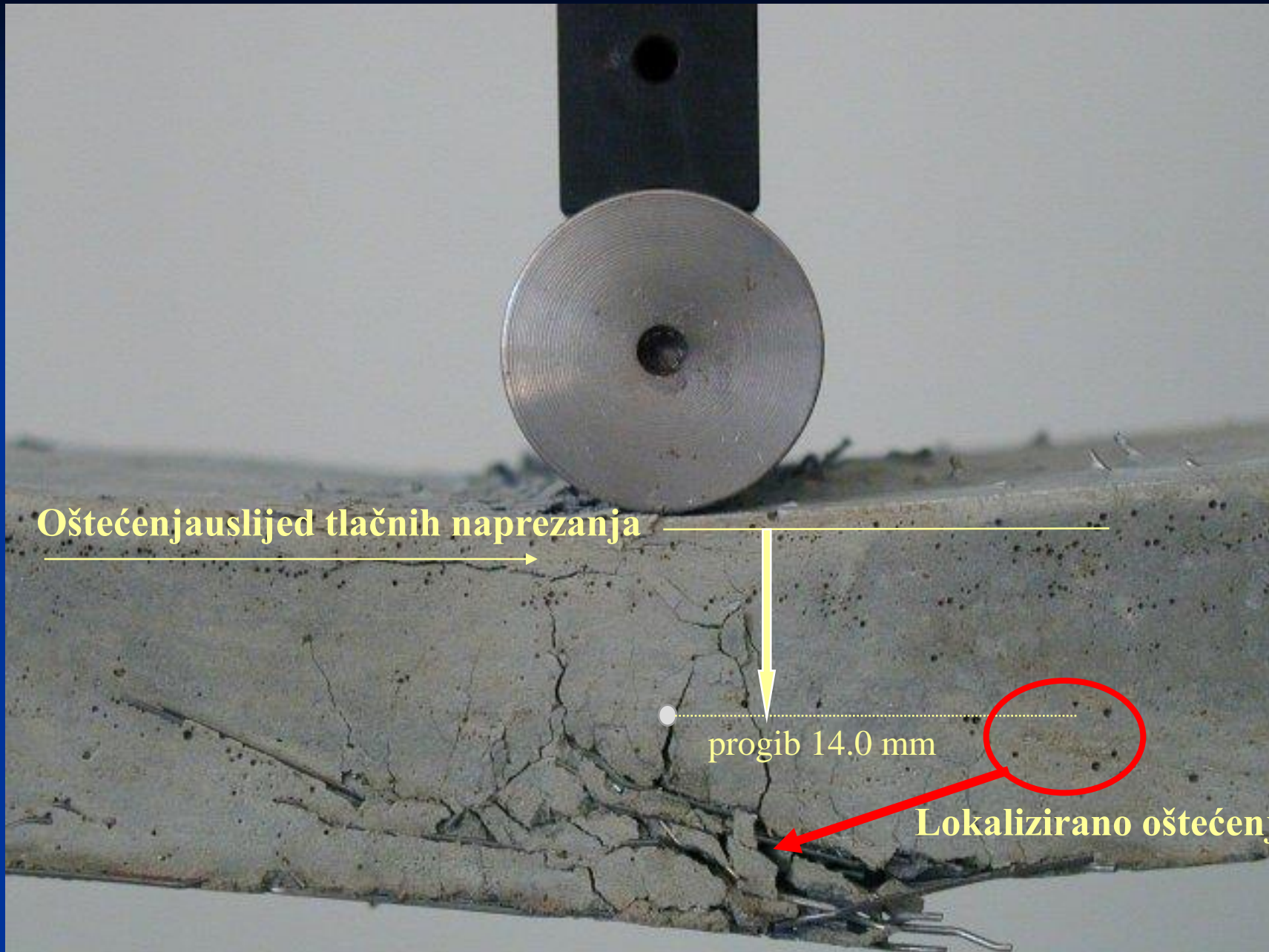
progib 4.0 mm

Početak višestrukog raspucavanja



progib 6.5 mm

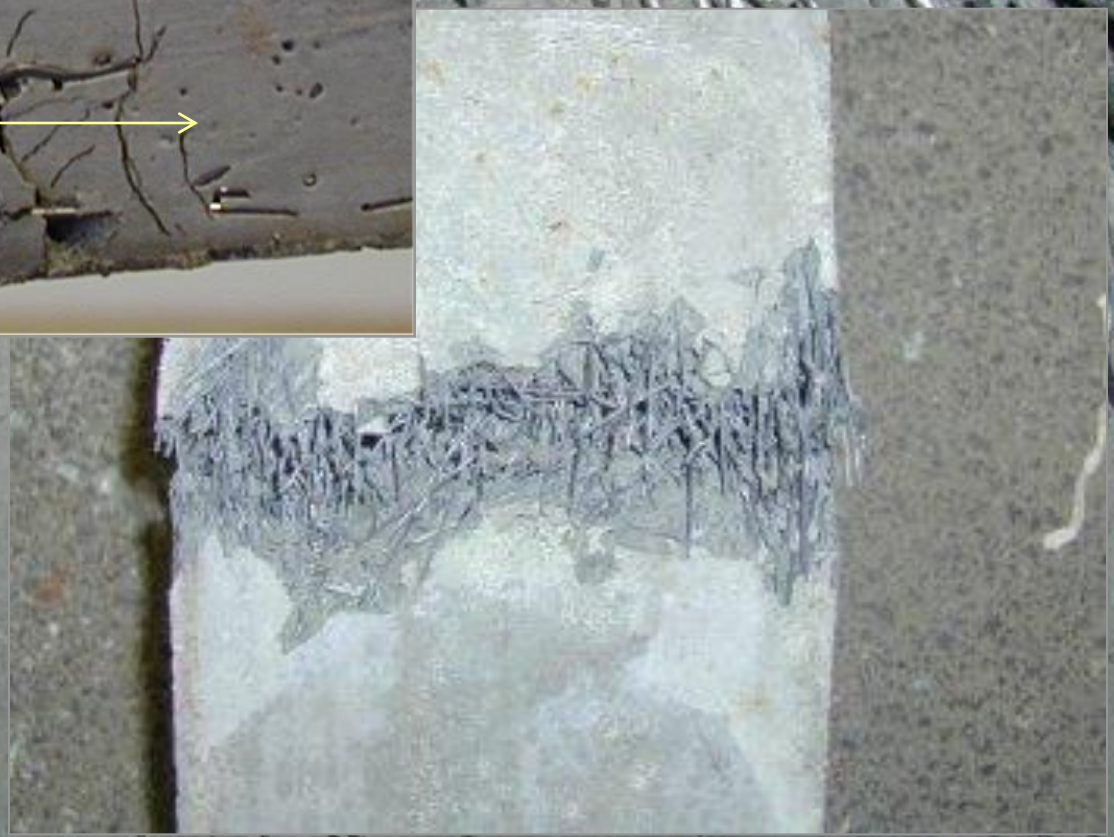
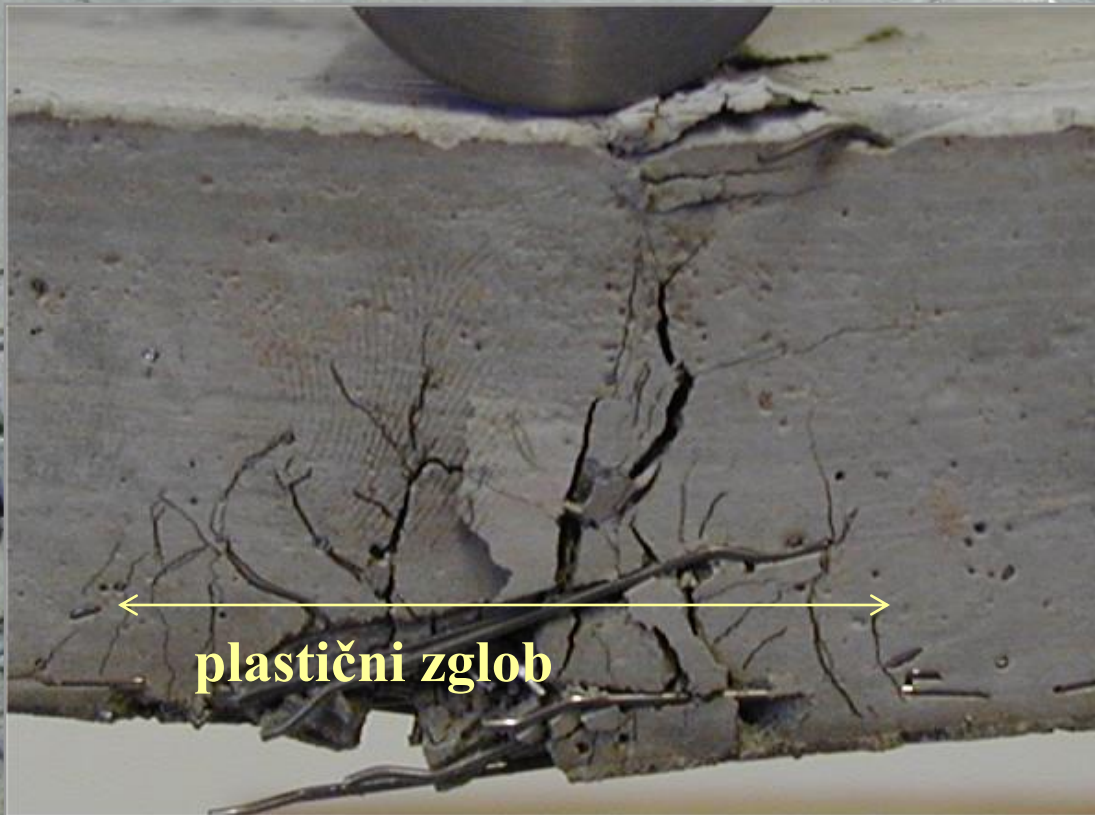
Lokalizacija raspucavanja



Oštećenja uslijed tlačnih naprezanja

progib 14.0 mm

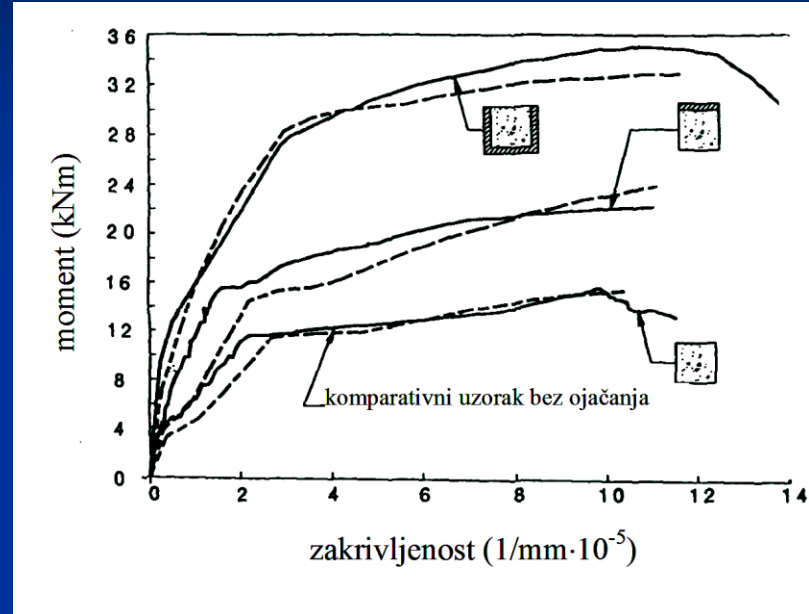
Lokalizirano oštećenje



SIFCON tehnologija



SIMCON tehnologija



- SIMCON (Slurry Infiltrated Mat Concrete)
- Mikroarmirani kompozit koji se sastoji od prefabriciranih čeličnih mreža postavljenih u slojevima, a između kojih su injektirani slojevi morta velike čvrstoće
- Količina čeličnih vlakana je 3-5 vol. %
- Optimalno korištenje SIMCON-a je za omatanje kritičnih konstruktivnih elemenata

SIMCON tehnologija



- **Tvorničkom izradom čeličnih mreža utječe se na poboljšanje orijentacije čeličnih vlakana**
- **Mehanička svojstva ovise o:**
 - **Čvrstoći čelika**
 - **Broju slojeva mreža**
 - **Dimenziji mreža**
 - **Kvaliteti morta**

MIKROARMIRANI BETONI VISOKIH UPORABNIH SVOJSTAVA

- **S obzirom na vrijednosti tlačne čvrstoće to su betoni razreda tlačne čvrstoće većeg od C 100/115**
- **Sastavne komponente: cement, silikatna prašina, superplastifikator, kvarcni pijesak sa ili bez krupnog agregata, čelična vlakna, voda**
- **Koriste se za nearmirane konstruktivne elemente sa ili bez prednapinjanja**

OSNOVNI PRINCIPI DOBIVANJA MIKROARMIRANIH BETONA VISOKIH UPORABNIH SVOJSTAVA

- Povećanje homogenosti reduciranjem ukupne količine krupnog agregata
- Povećanje gustoće ugrađenog betona optimaliziranjem granulometrijskog sastava
- Poboljšanje mikrostrukture toplinskim tretiranjem ugrađenog betona
- Poboljšanje duktilnosti dodavanjem čeličnih vlakana



USPOREDBA MEHANIČKIH SVOJSTAVA

Svojstvo	obični beton	beton visokih čvrstoća	mikroarmirani betoni visokih uporabnih svojstava
Gustoća (g/cm ³)	2.3	2.4	2.5 - 2.6
Tlačna čvrstoća (MPa)	< C 50/60	C 55/67 – C 100/115	> C 100/115
Svojna čvrstoća (MPa)	5 - 6	7 - 9	20 - 60
Vlačna čvrstoća (MPa)	2 - 3	3 - 4	8 - 12
Modul elastičnosti (GPa)	25 - 40	40 - 45	45 - 60

USPOREDBA TRAJNOSNIH SVOJSTAVA

Svojstvo	obični beton	beton visokih čvrstoća	mikroarmirani betoni visokih uporabnih svojstava
Koeficijent plinopropusnosti (m ²)	10 ⁻¹⁵ – 10 ⁻¹⁶	10 ⁻¹⁷	< 10 ⁻¹⁹
Koeficijent difuzije klorida (m ² /s)	1.1 · 10 ⁻¹²	0.6 · 10 ⁻¹²	2 · 10 ⁻¹⁴
Brzina korozije (µm/god)	1.2	0.25	< 0.01
Koeficijent abrazije	4	2.8	1.3
Ukupna poroznost (% vol.)	15	8-9	6
Kapilarna poroznost (% vol.)	8-9	5-6	1-2

PREDNOSTI ZA KONSTRUKTIVNU PRIMJENU

- **reduciranje dimenzija konstruktivnih elemenata**
- **velika sloboda u konstruktivnom oblikovanju**
- **eliminacija meke armature**
- **estetski kvalitetan izgled površine**
- **znatno produljena trajnost**
- **minimalni troškovi za održavanje i sanaciju**
- **duktilnost i sposobnost apsorpcije energije**



PRIMJENA MIKROARMIRANIH BETONA VISOKIH UPORABNIH SVOJSTAVA

- mostovi
- konstruktivni elementi u iznimno agresivnoj okolini
- konstrukcije velikih raspona
- stupovi nebodera
- elementi za sanaciju
- elementi složenog oblika i obrade površine
- trezori za čuvanje vrijednosti
- zaštitni paneli od udara projektila i eksplozija
- kontejneri za čuvanje radioaktivnog i drugog otpada itd.

