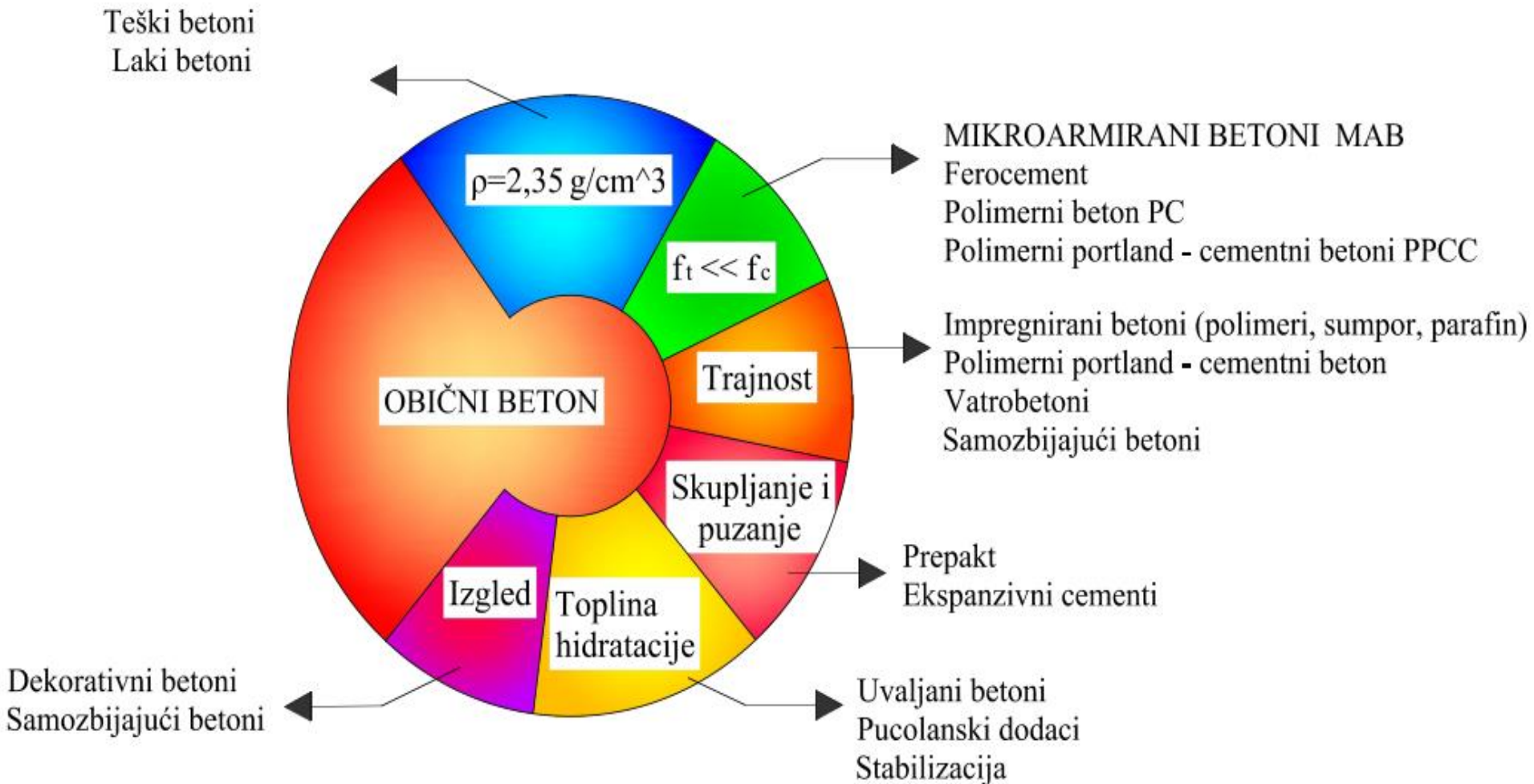


MIKROARMIRANI BETON

SVEUČILIŠTE
JOSIPA JURJA STROSSMAYERA
U OSIJEKU

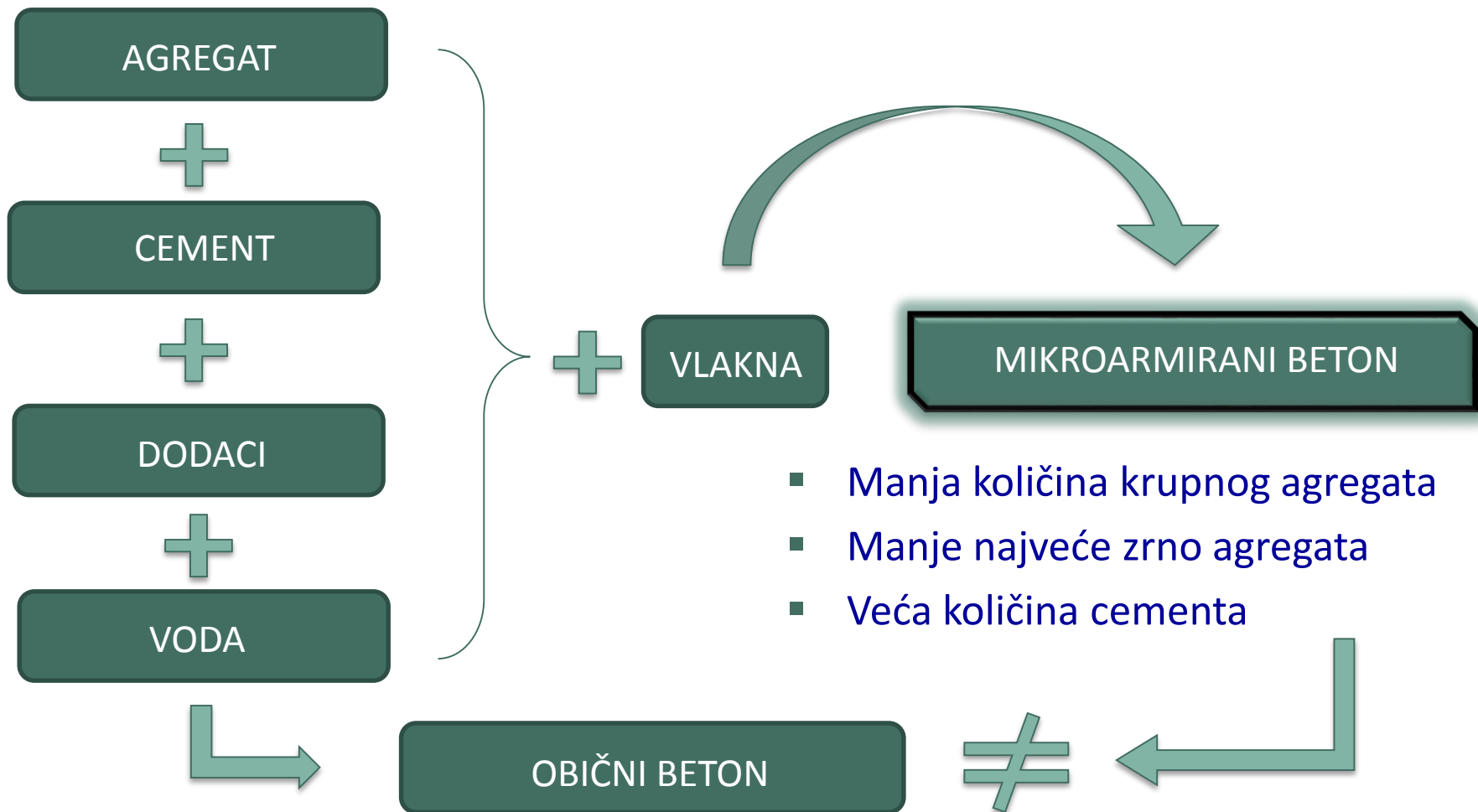


JOSIP JURAJ STROSSMAYER
UNIVERSITY OF OSIJEK



Betoni posebnih namjena

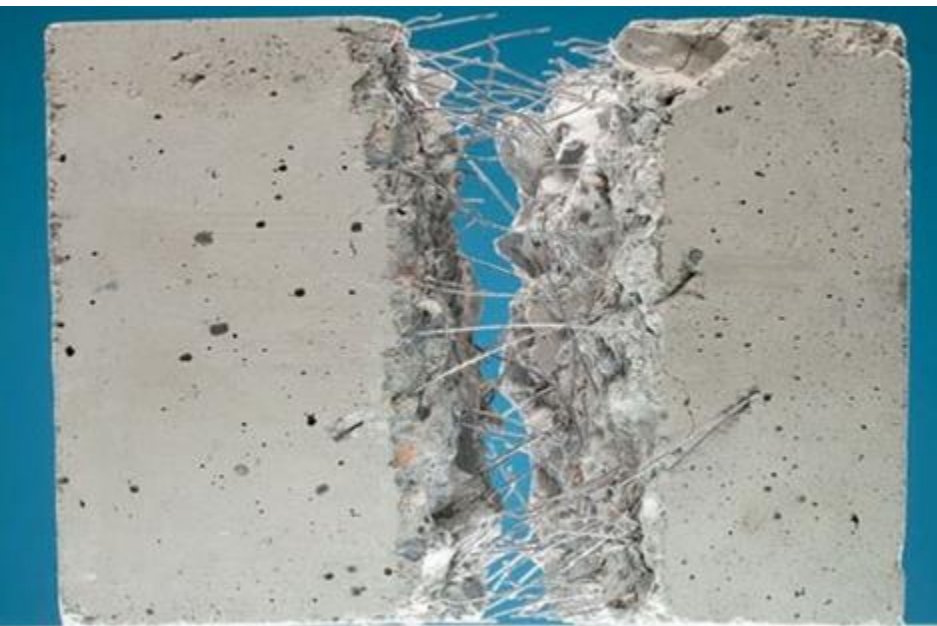
MIKROARMIRANI BETON



Mikroarmirani beton može biti:

- Sitnozrnati – mikroarmirani beton s najvećim zrnom agregata do 10 mm
- Krupnozrnati cementni mort – mikroarmirani beton s vlaknima

Najveća poteškoća – postizanje jednolične smjese i jednoličnog rasporeda vlakanaca

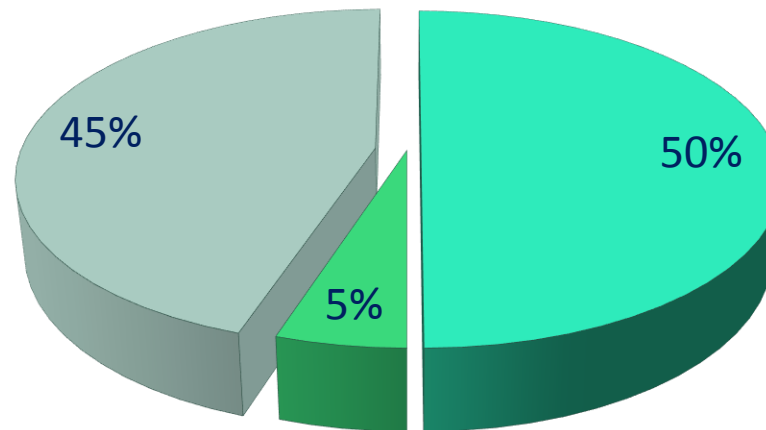


Mikroarmirani beton

RAZVOJ MIKROARMIRANOG BETONA

- Prve ideje – SAD, početak 20 - og stoljeća
- Šira primjena – 1960 - ih godina

■ Industrijski podovi ■ Industrija predgotovljenih elemenata ■ Tunelogradnja



Primjena mikroarmiranog betona u Europi

SVOJSTVA MIKROARMIRANOG BETONA

Svojstva mikroarmiranog betona ovise o:

- vrsti vlakana,
- obliku vlakana,
- dimenzijama vlakana,
- količini vlakana i
- kvaliteti betona.

Svojstva mikroarmiranog betona u odnosu na obični beton:

- veća vlačna čvrstoća,
- veća otpornost na pucanje,
- veća otpornost na poslijepukotinsko stanje,
- veća otpornost na habanje,
- veća otpornost na udar, te
- veća otpornost na dinamičko opterećenje.

Pregled približnih promjena svojstva betona nakon armiranja vlaknima

Svojstva betona		Promjena svojstva na svojstvo betona bez vlakana (%)
Tlačna čvrstoća		- 10 do + 25
Vlačna čvrstoća savijanjem		do + 150
Vlačna čvrstoća rastezanjem		+ 25 do + 40
Posmična čvrstoća		do + 200
Udarna čvrstoća		do + 700
Čvrstoća na zamaranje		+ 50 do + 100
Modul elastičnosti		- 10 do - 30
Skupljanje		do - 50
Vodopropusnost		nešto veća
Otpornost na povišenu temperaturu	do + 250 °C	nepromijenjena
	do + 400 °C	neznatno veća
	do + 600 °C	znatno veća
Otpornost na habanje		znatno veća
Obradljivost (ugradljivost)		do - 50

PRIMJENA VLAKANA

- Vlakna – elementi kratke duljine
- Karakteristike vlakana:
 - dužina,
 - promjer,
 - vitkost,
 - vlačna čvrstoća,
 - koeficijent oblika vlakana,
 - struktura,
 - kemijska otpornost.
- Formiraju prostornu rešetku
- Poboljšavaju elastoplastična svojstva – mikroarmirani beton postaje manje krt
- Smanjuju obradljivost



3D raspored PP vlakana

Vrste vlakana:

- vlakna od bezalkalnog stakla,
- čelična vlakna,
- polimerna – polipropilenska,
- od materijala biljnog porijekla – celulozna, pamučna, od konoplje, bambusa i sl.

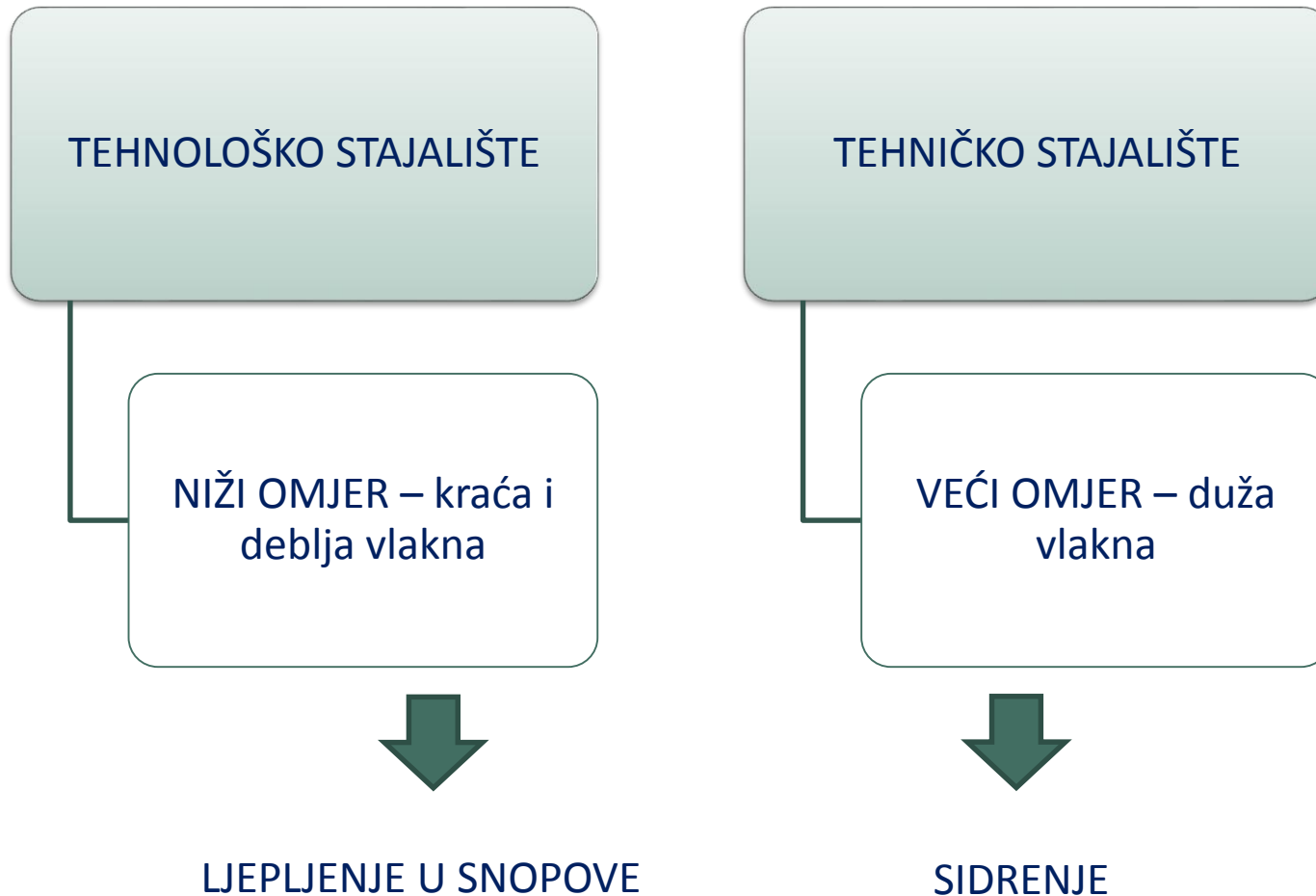


Konopljina vlakna



Staklena vlakna

Koeficijent oblika vlakana – omjer duljine i promjera vlakana



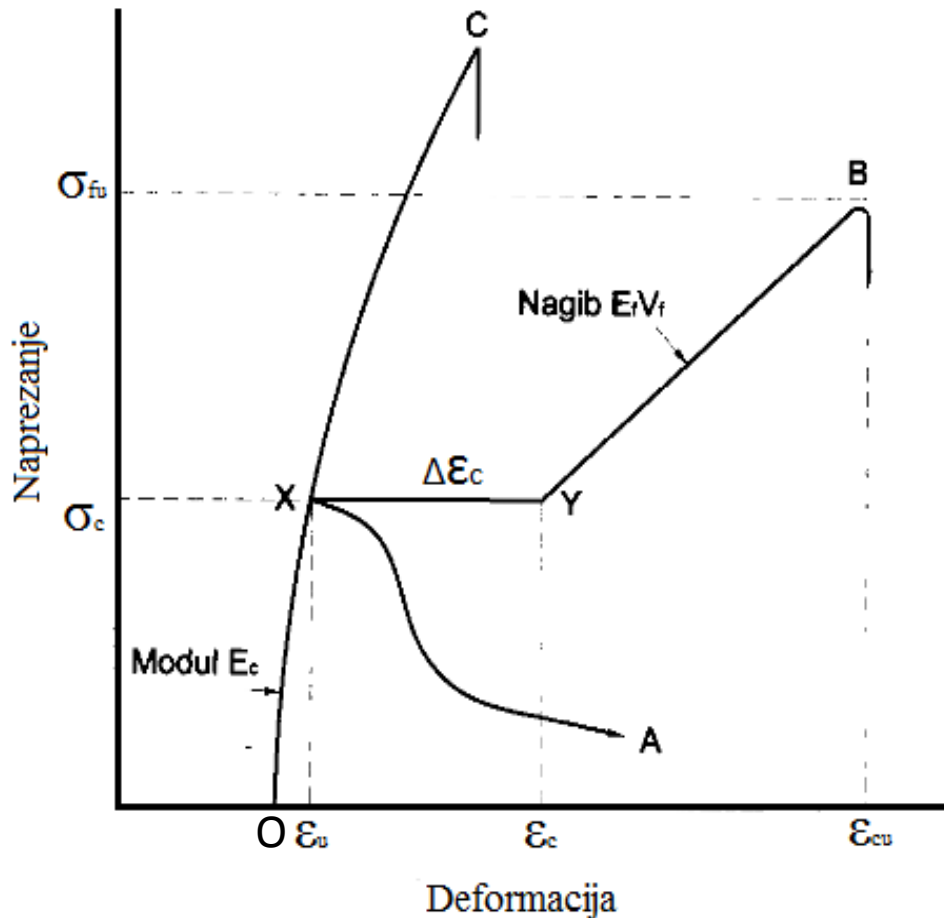
Primjena vlakana u betonu imati će prednost kod:

- tankostijenih elemenata koje nije moguće klasično armirati (cijevi, podovi i sl.),
- dinamički opterećenih elemenata,
- prometnih površina izloženih teškim uvjetima eksploatacije,
- konstrukcija izloženih u eksploataciji visokim temperaturama i termičkim šokovima,
- tunelskih obloga, te
- sanacija površinskih oštećenja betona.



Tunelogradnja

TEORIJSKE OSNOVE POSLIJEPUKOTINSKOG PONAŠANJA



- OX – elastični modul kompozita prije pojave prve pukotine
- A – mikroarmirani beton čeličnim ili kratkim polipropilenskim vlaknima
- B – mikroarmirani beton staklenim ili umreženim polipropilenskim vlaknima
- C – azbestne ili celuloznim vlaknima armirane kompozite
- A i C – kompoziti s više nego dovoljno vlakana za preuzimanje opterećenja nakon puknuća kompozita
- B – kompoziti s više nego dovoljno vlakana za preuzimanje opterećenja i nakon pucanja elementa

Dijagram ovisnosti $\sigma - \epsilon$ različitih mikroarmiranih kompozita

PROJEKTIRANJE MIKROARMIRANOG BETONA

- Beton mikroarmiran čeličnim vlaknima
- Beton mikroarmiran polimernim vlaknima
- Beton mikroarmiran makrosintetičkim vlaknima
- Mikroarmirani beton visokih uporabnih svojstava



Uzorci kocke i valjka mikroarmiranog betona

BETON MIKROARMIRAN ČELIČNIM VLAKNIMA

Čelična vlakna:

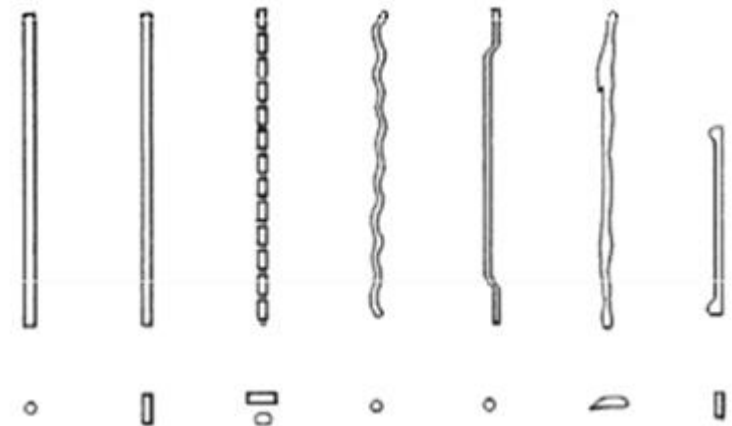
- najčešće primjenjivana
- zamjenjuju uobičajenu armaturu



Čelična vlakna

Vrste čeličnih vlakana:

- ravna vlakna s plosnatim krajevima
- ravna vlakna s kukastim krajevima
- valovita vlakna



Različiti oblici čeličnih vlakana

Čelična vlakna:

- Doziranje: 20 – 50 kg/m³
- Duljina: 10 – 60 mm
- Sidrenje: 1/4 duljine
- Promjer: 0,10 – 0,60 (1,50) mm
- Volumen: < 1 % ugrađenog betona
- Agregat: ~ 70 %



Industrijski podovi

Industrijski podovi:

- Doziranje: 30 kg/m³
- Volumen: 0,4 % ugrađenog betona



d = 120 – 200 mm

- veća žilavost
- bolja poslijepukotinska nosivost

Prednosti primjene čeličnih vlakana :

- povećanje otpornosti na savijanje,
- povećanje vlačne čvrstoće i do 50 %,
- povećanje žilavosti,
- povećanje poslijepukotinske nosivosti,
- povećanje otpornosti na udarno i abrazijsko opterećenje.

Područja primjene čeličnih vlakana:

- hidrotehničke konstrukcije s jakim kavitacijskim i abrazijskim opterećenjem (slapišta, preljevi),
- kolničke površine zračnih luka,
- predgotovljeni elementi,
- industrijski podovi.

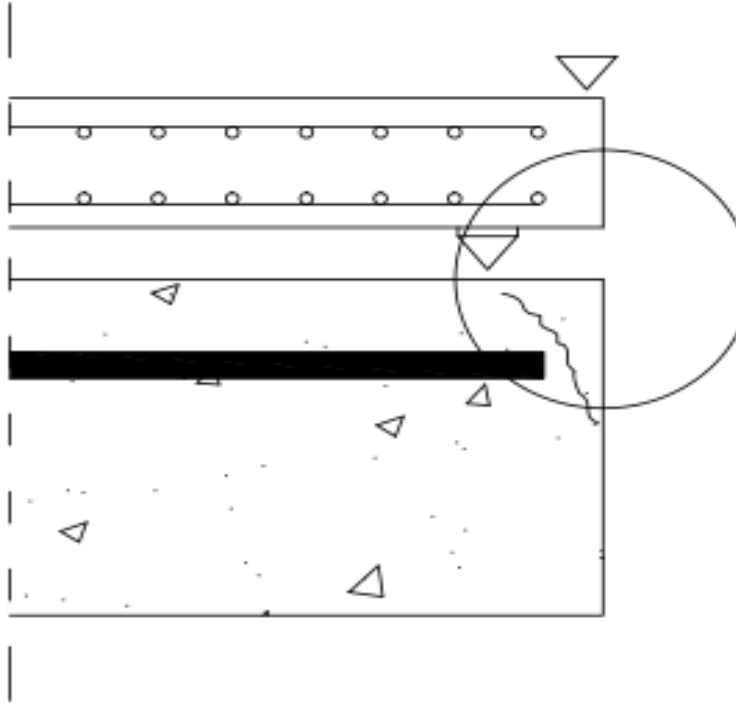


Predgotovljeni elementi

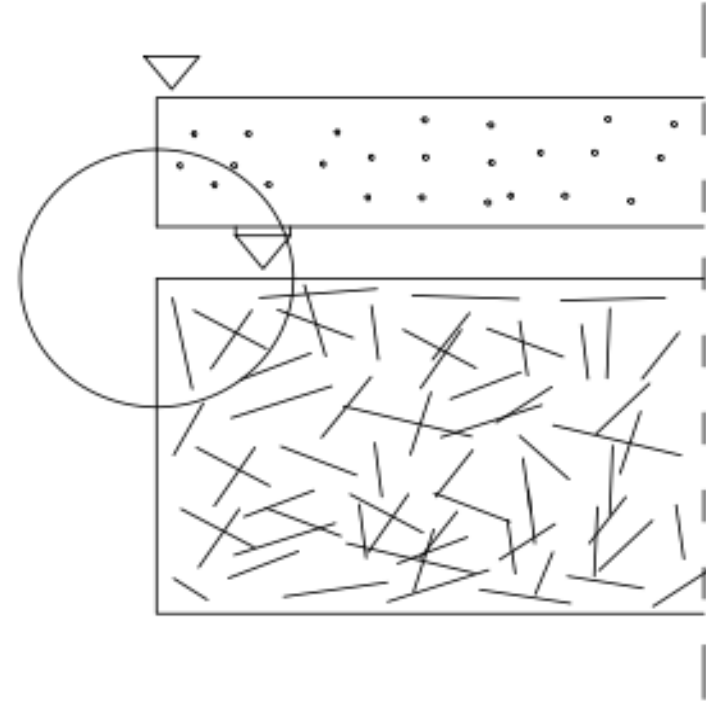
Primjena betona armiranog čeličnim vlaknima smanjuje troškove ugradnje jer:

- ne raspolažemo mrežastom armaturom,
- nema ugradnje koorodirane armature,
- ne gubi se vrijeme za ugradnju armature,
- nema straha da se neće osigurati zaštitni sloj betona,
- nema vidljive armature,
- nema ostataka armature, te
- faza ugradnje betonske miješavine faza je i izrade i ugradnje armature.

Prednost primjene čeličnih vlakana u odnosu na uobičajenu armaturu



Primjena uobičajene armature

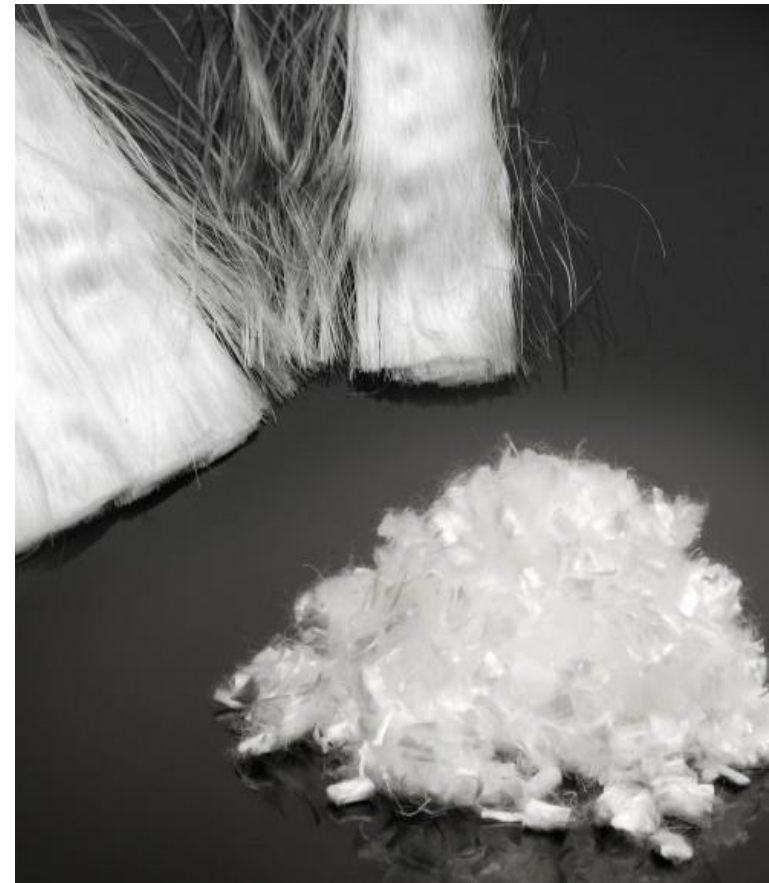


Primjena čeličnih vlakana

BETON MIKROARMIRAN POLIMERNIM VLAKNIMA

Polipropilenska vlakna – mikrosintetička vlakna

- Razvoj – 1970. godine
- Polipropilenska vlakna:
- Doziranje: 0,6 – 2,0 kg/m³
 - u tijeku proizvodnje
 - na lokaciji
- Duljina: 3 – 20 (25) mm (12 mm)
- Volumen:
 - 0,1 % za duljine 5 – 25 mm
 - 0,4 % za duljine 40 mm
- Ne mogu zamijeniti uobičajenu armaturu



Polipropilenska vlakna

Prednosti primjene polipropilenskih vlakana:

- povećanje žilavosti,
- povećanje otpornosti na udar,
- reduciraju izdvajanje vode i plastično skupljanje betona,
- smanjuju segregaciju agregata,
- povećanje poslijepukotinske nosivosti.

Područja primjene polipropilenskih vlakana:

- konstruktivni elementi s traženom otpornosti na zagrijavanje (otpornost na temperaturne šokove uslijed požara – 700 °C),
- izrada glazura (estriha) za podove,
- predgotovljeni betonski elementi,
- tunelogradnja.

BETON MIKROARMIRAN MAKROSINTETIČKIM VLAKNIMA

- Najnovija vlakna u tehnologiji betona
- Makrosintetička vlakna – kombinacija polietilena i polipropilena
- Zamjenjuju u potpunosti uobičajenu armaturu
- Valovitog su oblika i čvrsto se sidre u beton
- Doziranje: 5 – 9 kg/m³



Polipropilen



Polietilen

Rizik od pojave mikropukotina – kombinacija makrosintetičkih vlakana i mikrosintetičkih (polipropilenskih) vlakana

Prednosti primjene makrosintetičkih vlakana :

- nepostojanje rizika korozije,
- povećanje žilavosti,
- povećanje poslijepukotinske nosivosti.

Područja primjene makrosintetičkih vlakana:

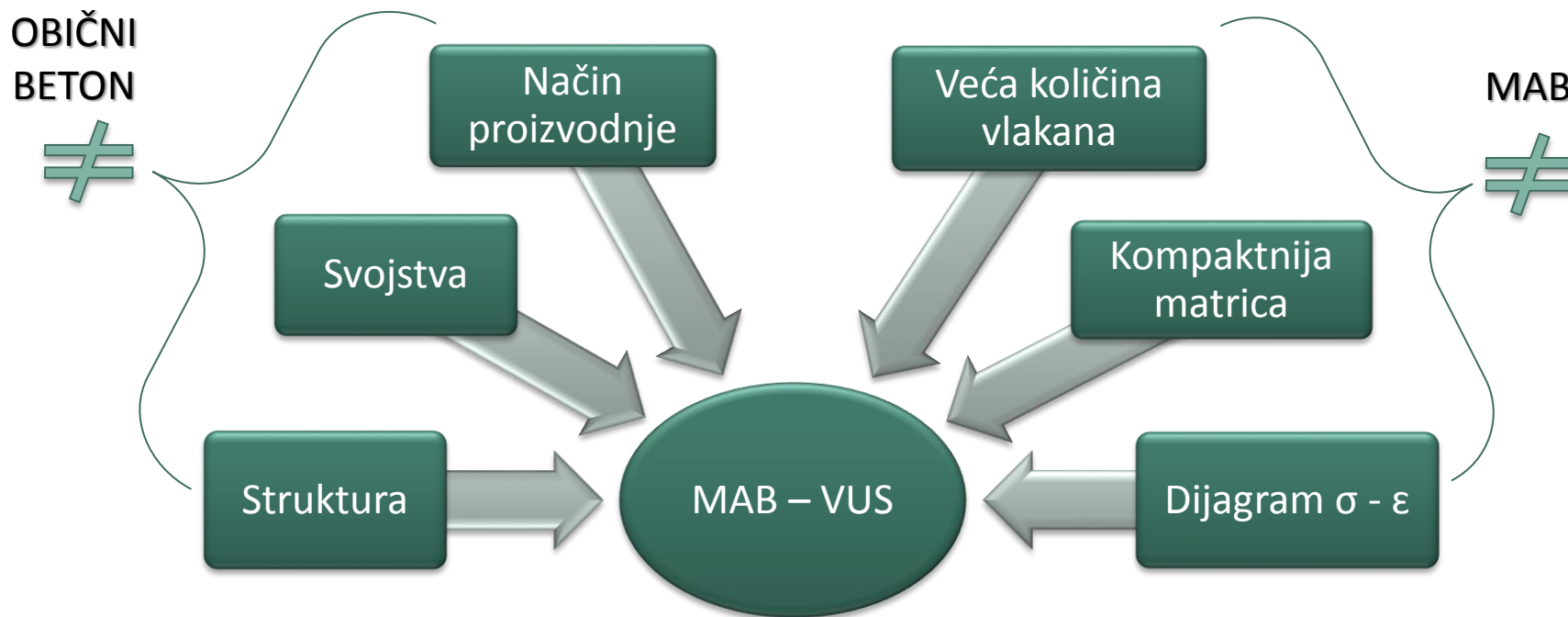
- primarna podgrada tunela,
- stabilizacija pokosa,
- betonske podne ploče,
- zahtjevani predgotovljeni betonski elementi.

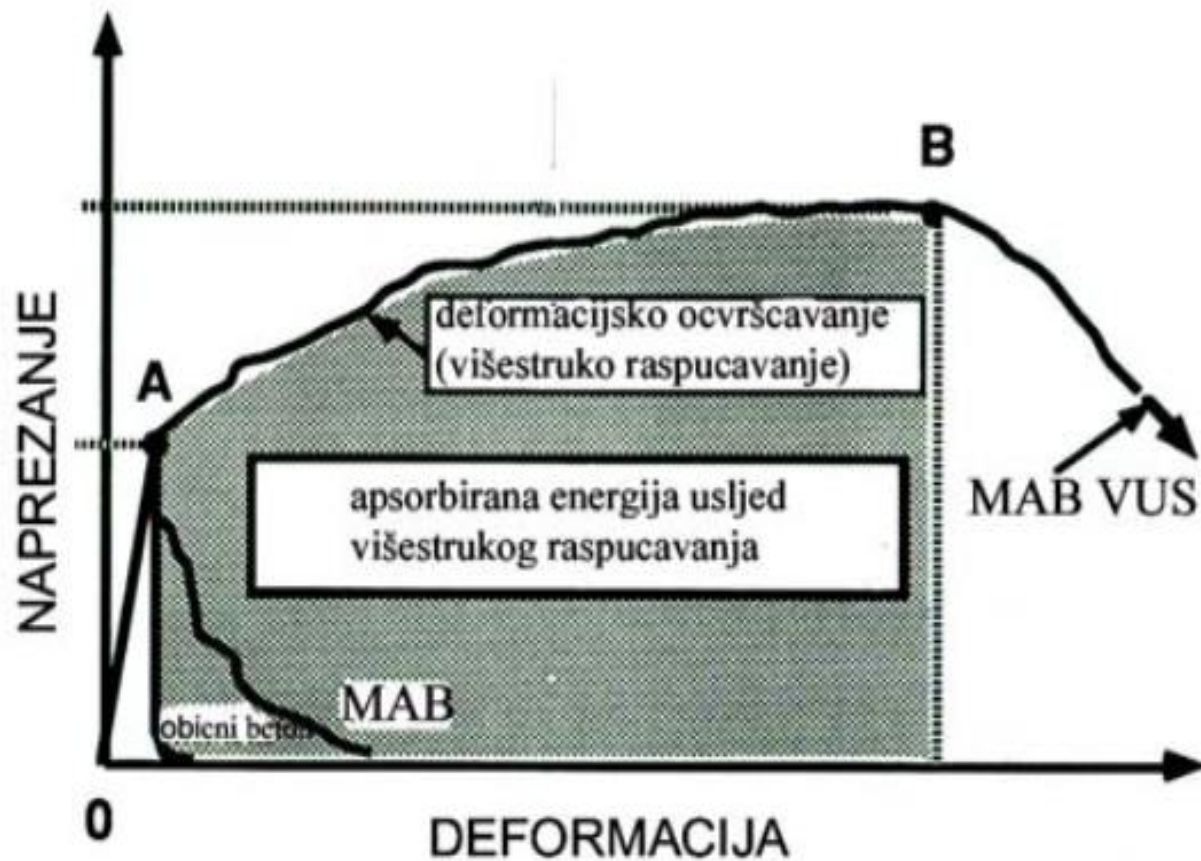


Zaštita pokosa

MIKROARMIRANI BETON VISOKIH UPORABNIH SVOJSTAVA – MAB VUS

- Kompozitno gradivo – cementna matrica $f_{ck} > 150$ MPa + vlakna
- Razvoj – krajem 20 – og stoljeća

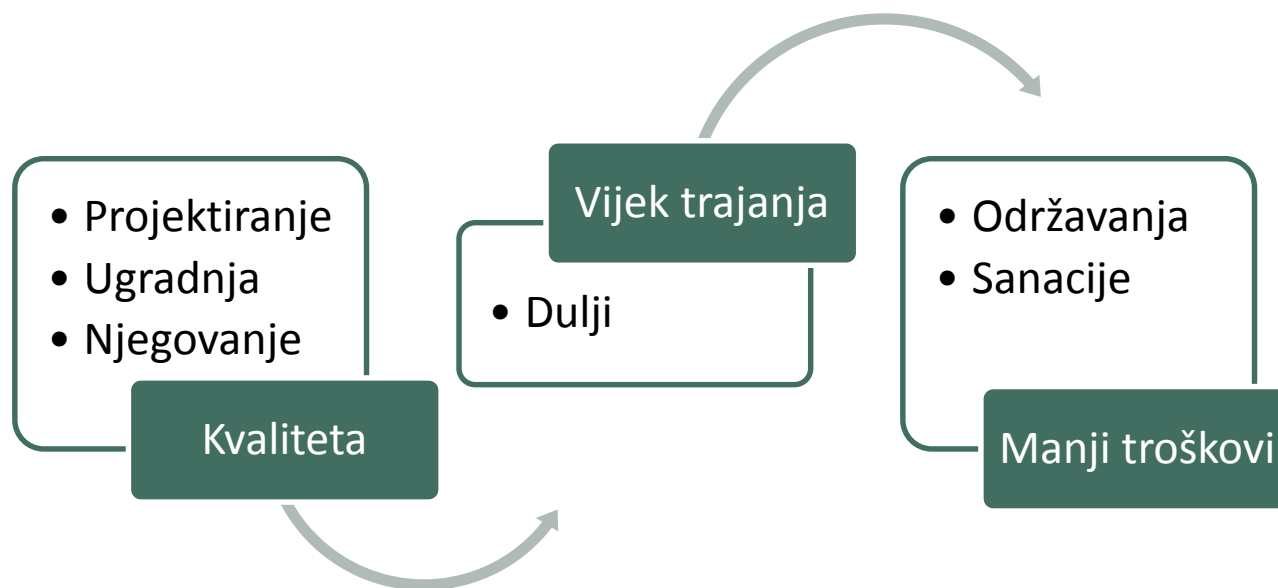




Usporedba dijagram $\sigma - \epsilon$ pri savojnom opterećenju između običnog betona, mikroarmiranog betona i mikroarmiranog betona visokih uporabnih svojstava

Prednosti primjene MAB VUS – a:

- poboljšana mehanička svojstva – velika vlačna čvrstoća i duktilnost, velika trajnost.



PRIMJER PROJEKTIRANJA SASTAVA MIKROARMIRANOG BETONA

Projekt sastava mikroarmiranog betona

Sastav betonske mješavine		Masa		Gustoća	Volumen
		%	kg	kg/dm ³	dm ³
Cement			350,00	3,09	113,27
Voda			160,00	1,00	160,00
v/c omjer = 0,46					
Superplastifikator			1,80	1,06	1,69
Agregat	0 – 4 mm	60	1080,00	2,55	423,71
	4 – 8 mm	40	720,00	2,55	282,48
Čelična vlakna			30,00	7,80	3,85
Zrak		1,50			15,00
Suma			2341,80	2,34	1000,00



Obični beton



Mikroarmirani beton

ISPITIVANJE MIKROARMIRANOG BETONA

- HRN EN 206 – 1
- Ispitivanje u svježem stanju:
 - Penetracija konusom (prodiranje konusa)
 - Obrnuto ispitivanje slijeganja konusa
 - J – prsten
- Ispitivanje u očvrslom stanju – kao kod “običnog” betona

ISPITIVANJE MIKROARMIRANOG BETONA U SVJEŽEM STANJU

Penetracija konusom (prodiranje konusa)

- Metalni konus – 4 kg ; vrh pod kutem 30°
- Mjerenje dubine penetracije
- Veza između težine konusa, geometrije, du prodiranja i svojstava betona:

$$d = \frac{KW^n}{\theta}$$

d – dubina penetracije

W – težina konusa

θ – kut vrha

K ; n – empirijske konstante



Konus



Uređaj za penetraciju konusom

Prednosti:

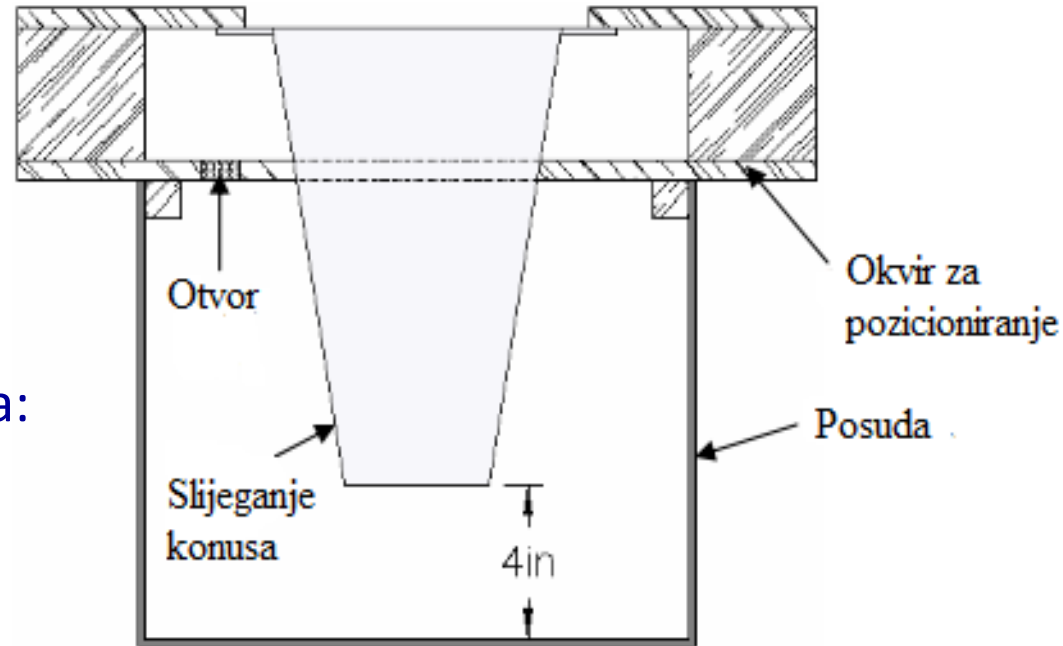
- jednostavan je,
- daje direktne rezultate,
- primjena na mjestu rada.

Nedostaci:

- statičan je,
- nije u potpunosti pogodan za mikroarmirani beton,
- rezultati su povezani s količinom stresa i ne snimaju se u osnovnim jedinicama.

Obrnuto ispitivanje slijeganja konusa

- Dijelovi uređaja:
 - interni vibrator
 - konus
 - posuda
 - Prostor između dna i konusa:
4 inča
 - 3 sloja betona
 - Interni vibrator – $d = 1$ inč
(2,54 cm)
- Mjeri se vrijeme od umetanja vibratora dok sav beton ne iziđe iz konusa



Uređaj za obrnuto ispitivanje slijeganja konusa

Prednosti:

- dinamično ispitivanje koje uzima u obzir visoku tiksotropiju mikroarmiranog betona,
- jednostavno je i daje direktne rezultate,
- uređaj se sastoji od opreme koja je dostupna.

Nedostaci:

- pogodno je samo za smjese betona sa slijeganjem manjim od 2 inča,
- teško se provodi,
- otvor na dnu konusa je mali u odnosu na tipičnu veličinu agregata i nekih vlakana,
- neka duga vlakna se mogu omotati oko vibratora,
- važni parametri nisu standardizirani, pa se ispitivanja provedena s različitim vibratorima ne mogu usporediti,
- moguća je pogreška onoga tko provodi ispitivanje.



“The Bridge Pavilion” – Zaragoza, Španjolska
Beton armiran staklenim vlaknima

LAKI BETONI. TEŠKI BETONI

SVEUČILIŠTE
JOSIPA JURJA STROSSMAYERA
U OSIJEKU



JOSIP JURAJ STROSSMAYER
UNIVERSITY OF OSIJEK

Podjela betona prema masi/gustoći

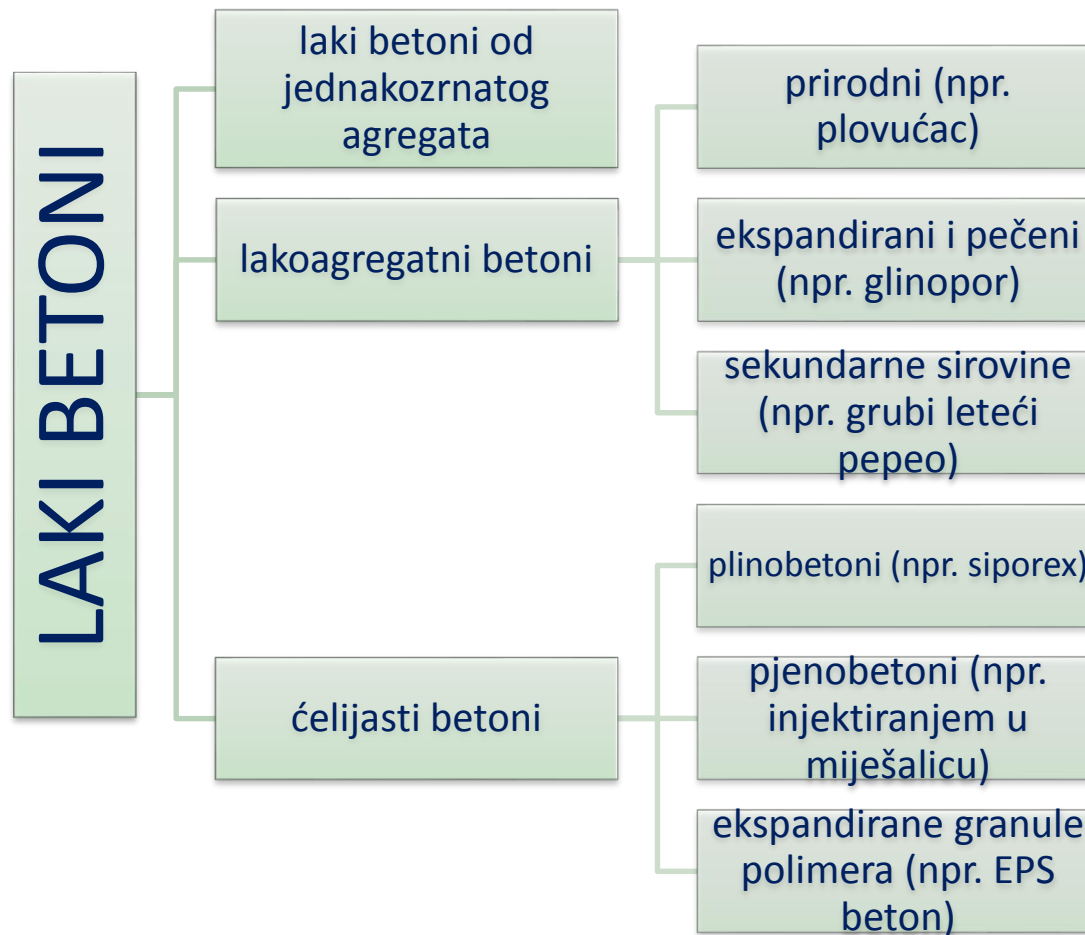
Laki beton

Normalni
beton

Teški beton

LAKI BETONI

- Laki betoni - specifična težina manja od 2000 kg/m^3 (600 – 1500 kg/m^3)
- Manja specifična težina postiže se:
 - stvaranjem međuprostora između krupnih zrna agregata
 - upotrebom agregata s velikim sadržajem pora
 - stvaranjem pora u mortu
- Razlikujemo tri vrste lakih betona:
 - betoni od jednakozrnatog agregata
 - lakoagregatni betoni
 - ćelijasti betoni



Vrste lakih betona prema načinu proizvodnje

Prednosti lakih betona:

- dobra toplinsko izolacijska svojstva
- dobra otpornost na djelovanje mraza
- kemijski su inertni
- dobra su zvučna izolacija
- vatrostalnost
- dobra podloga za žbukanje
- trajnost ista kao kod običnih betona

Nedostaci lakih betona:

- skuplji su
- spravljanje, transport i ugradnja zahtijevaju više pažnje
- neotporni su na habanje
- manji modul elastičnosti, veće puzanje i krtiji su od običnog betona
- skupljanje i bubrenje je veliko

Prema namjeni lake betone dijelimo na:

- konstrukcijske
- konstrukcijsko-izolacijske
- izolacijske

Podjela lakih betona prema namjeni s uvjetima kvalitete

	Tipovi lakih betona		
	Konstrukcijski	Konstrukcijsko-izolacijski	Izolacijski
Gustoća, ρ (kg/m ³)	< 1600	< 1400	< 500
Tlačna čvrstoća, f_c (MPa)	> 15	> 3,50	> 0,50
Toplinska provodljivost, λ (W/Km)	-	< 0,75	< 0,30

Primjena lakih konstrukcijskih betona:

- lagane fert stropne i krovne konstrukcije, potpornje i nosače
- ravni i kosi krovovi
- lagane betonske ploče
- terase i konzole
- mostovi i vijadukti
- nadstrešnice
- betonski predgotovljeni elementi

Primjena lakih izolacijskih betona:

- cementna košuljica (estrih) na krovu ili terasama
- cementna košuljica za izravnavanje međukatova i stropa
- betoniranje svodova
- obnavljanje stropnih konstrukcija
- zaštita hidroizolacije
- zatrpavanje rova/temelja
- cjevovodi

Laki betoni od jednakozrnatog agregata

- iz mješavine za beton se izostavlja sitniji agregat
- dolazi do pojave mnoštva šupljina
- najteži od svih lakih betona
- količina cementa svedena na minimum (oko 250 kg/m³ cementa)



Ekspandirana glina



Prirodni plovućac

Svojstva jednakozrnatih lakih betona

Karakteristika betona	Vrsta (porijeklo) agregata				
	Šljunak, drobljeni kamen	Drobljena pečena opeka	Sinterirani pepeo i zgura	Ekspandirani škriljac i glina	Ekspandirana zgura i prirodni plovućac
Zapreminska masa (kg/m^3)	1600 - 1800	1100 - 1350	800 - 1100	600 - 1000	650 - 950
Tlačna čvrstoća (MPa)	4 - 10	2,50 - 5,50	1,50 - 5	1 - 4	1,50 - 3,50
Koeficijent toplinske provodljivosti (W/Km)	0,52 - 0,80	0,35 - 0,46	0,23 - 0,35	0,17 - 0,29	0,17 - 0,23

Lakoagregatni betoni

- koriste se laki agregati (prirodni ili umjetni)
- prirodni agregati - plovućac, diatomit i vulkanski pepeo
- umjetni agregati - ekspanzirana pečena glina, ekspanzirana granulirana zgura, ekspanzirani perlit ili vermikulit te ekspanzirani polimerni materijal



Perlit



Vermikulit

- zapreminske mase lakoagregatnih betona (900 – 1800 kg/m³) definiraju njihove čvrstoće i toplinsko-izolacijska svojstva
- manje zapreminske mase betona - veća toplinsko-izolacijska moć
- negativna svojstva – skupljanje i upijanje velike količine vode

Vrijednosti koeficijenata toplinske provodljivosti betona

Vrsta betona	Zapreminska masa (kg/m ³)	Koeficijent toplinske provodljivosti (W/Km)
Običan beton	2250 - 2400	1,75 - 2,03
Jednakoizrnatni beton	1600 - 1900	0,82 - 1,16
Lakoagregatni beton	1400 - 1600	0,58 - 1,05
	800 - 1400	0,41 - 0,58
Ćelijasti beton	300 - 1000	0,17 - 0,35

Ćelijasti betoni

- šupljikava struktura
- veliki broj zračnih mjehurića
- male zapreminske mase

Vrste ćelijastog betona

Plinobeton

Pjenobeton

Plinobeton

- osnovna karakteristika - ćelijasta struktura koju čini bezbroj malih pora ispunjenih zrakom
- sadržaj pora - ukupna poroznost definira osnovna svojstva plinobetona
- zapreminske mase se kreću od 300 do 1000 kg/m³
- najlakši laki betoni Odnos poroznosti i zapreminskih masa plinobetona

Ukupna poroznost u %	Deklarirana zapreminska masa plinobetona u kg/m ³
89	300
85	400
81	500
78	600
74	700
70	800
68	900
63	1000

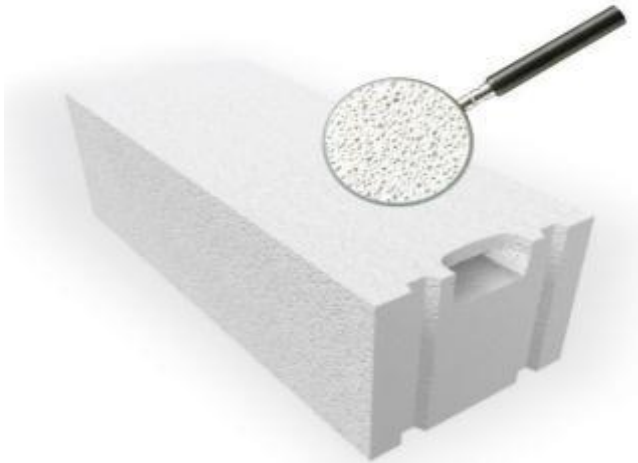
Ovisno o namjeni plinobetone možemo podijeliti u tri osnovne grupe, u plinobetone namijenjene za:

- izradu nosećih zidova
- izradu pregradnih zidova
- izradu izolacijskih zidova

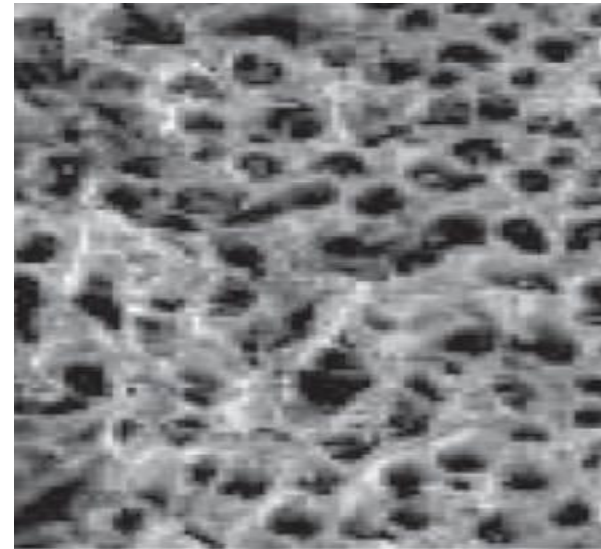
Čvrstoće i zapreminske mase plinobetona ovisno o namjeni

Namjena plinobetona	Minimalne tlačne čvrstoće u MPa	Zapreminske mase u kg/m ³
Noseći zidovi	2,5 - 5,0	600 - 1300
Pregradni zidovi	1,0 - 2,5	400 - 1000
Izolacijski zidovi	0,6 - 0,8	300 - 700

- proizvodnja - u autoklavima na visokim temperaturama i tlakovima
- sirovine za proizvodnju - cement, vapno, leteći pepeo, kvarcni pijesak i dodatak za ekspanziju (aluminijski prah)
- najpoznatiji primjeri plinobetona su siporex i ytong



Ytong betonski blok



Mikroskopski snimak
strukture Ytong-a

Pjenobeton

- sirovine za proizvodnju - cement, sitni pijesak i eventualno sitni agregat
- ćelijasta struktura - dodavanje sredstva za pjenjenje u miješalicu
- stvaranje zračnih mjehurića u betonskoj masi može se ostvariti na dva načina:
 - dodavanjem prethodno pripremljene pjene u betonsku masu
 - dodavanjem sredstva za stvaranje pjene u betonsku masu

Podjela prema zapreminskoj masi:

- vrlo laki ($300 - 600 \text{ kg/m}^3$)
- srednje laki ($600 - 1000 \text{ kg/m}^3$)
- srednje teški ($1000 - 1600 \text{ kg/m}^3$)

TEŠKI BETONI

- specifična težina veća od 2600 kg/m^3 ($3000 - 5000 \text{ kg/m}^3$)
- primjena - kada je potrebna što veća volumna masa betona npr. kod protuutega na mostovima, kod blokova za gradnju lukobrana radi zaštite od velikih morskih valova
- danas najvažnija primjena - kod zaštite od radioaktivnog zračenja u industrijskoj radiografiji, medicinskim instalacijama, u nuklearnim elektranama i sl.
- zbog velike cijene i poteškoća u obradi svježeg betona, upotreba je opravdana samo prilikom adaptacija i sanacija postojećih objekata

- koristi se agregat veće gustoće - stijene i minerali koji sadrže barit, magnetit ili željezne okside, uz eventualni dodatak nekih drugih primjesa (čelična strugotina, čelični otpaci)
- mogu se koristiti i olovne kuglice
- poboljšanje zaštitnih osobina - dodaci koji sadrže litij, bor, kadmij i sl.



Magnetit



Barit

Zapreminske mase teških agregata i betona

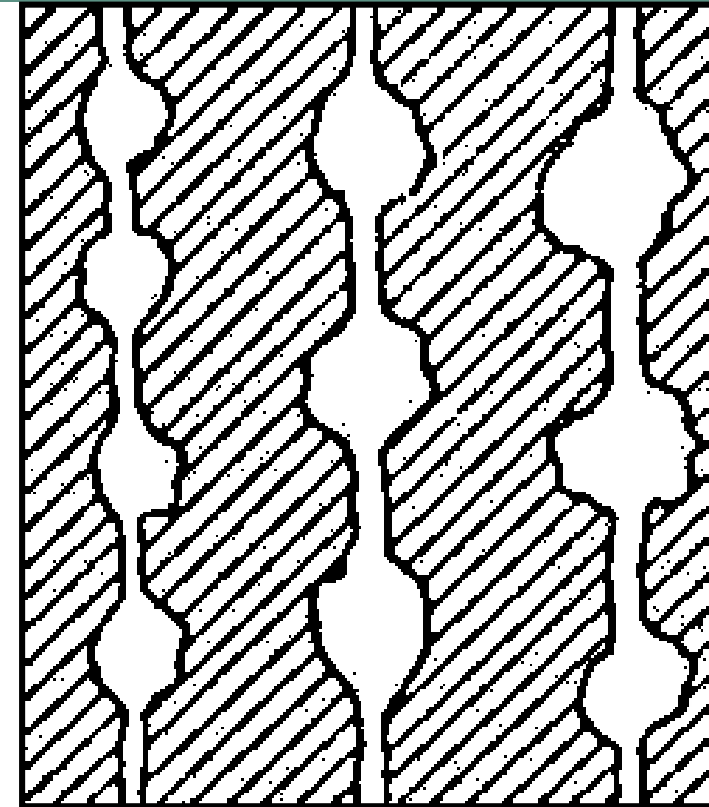
Vrsta teškog agregata	Zapreminska masa agregata (kg/m ³)	Zapreminska masa betona (kg/m ³)
Barit	4500	3600
Magnetit	4000 - 5000	3400 - 3600
Čelični otpaci	oko 7000	oko 6000

Dvije posebne vrste teških betona su:

- zračni betoni
- vakuum betoni

Zračni betoni

- mjehurići zraka - jako mali, jednoliko su raspoređeni i njihov ukupni volumen ne smije iznositi više od 3 – 5 % volumena betona
- upotrebljavaju se posebna sredstva, tzv. izazivači zraka
- ovakav beton pogodan je za objekte kao što su brane, rezervoari i slični objekti



Raspored zračnih mjehurića
u zračnom betonu

Vakuum betoni

- proizvodnja - iz već ugrađenog betona, odmah nakon ugrađivanja, izvuče se sva suvišna voda
- smanjenje vodocementnog faktora - veća kvaliteta betona
- primjena - kod horizontalnih ploča a mogu se primjenjivati i kod zidova, zgrada, brana itd.
- pored uštede u radnoj snazi dobiva se i beton bolje kvalitete
- za 8-9 dana postiže se čvrstoća betona koja bi se običnim betonom postigla tek nakon 28 dana

PROJEKTIRANJE SASTAVA BETONA

Projektiranje sastava lakog betona

- uobičajena procedura kao za obični beton sa jednim izuzetkom - teško je unaprijed odrediti potrebnu količinu vode za pripremu betona
- može doći do segregacije tj. do isplivavanja zrna lakog agregata na površinu betona
- znatno više cementa nego kod običnog betona iste konzistencije
- nepoželjna upotreba plastifikatora u lakom betonu
- poželjna upotreba aeranta

Karakteristični sastav lakih betona:

- cement
- normalno teški agregat
- lagani agregat
- vodu
- dodatak

Projektiranje sastava lakog betona

Komponente betona	Masa (kg)	Gustoća (kg/dm ³)	Volumen (dm ³)
Cement	400	3,09	129,45
Voda	148	1	148
v/c (0,37)	-	-	-
Zrak (3 %)	-	-	30
0 – 4 mm (umjetni) 40 %	745,18	2,69	277,02
Lagani agregat (perlit) 60 %	311,65	0,75	415,53
Suma (beton)	1604,83	1,60	1000

Okvirna receptura za izradu 1 m³ EPS (STIROPOR) – betona [6]

Gustoća EPS betona	Potrebno za 1 m ³ EPS - betona				
	Stiropor	Cement	Pijesak 0 – 4 mm	Voda	Aditiv npr. Stiropor - D
kg/m ³	lit	kg	kg	lit	lit
600	1100	350	95	200	5
1000	800	400	430	210	5
1400	650	400	830	230	5

- osnovni sastojci ovakvog betona su: krupno mljeveni stiropor, fini pijesak promjera zrna 0 – 4 mm, cement, voda i dodatak (STIGOPOR-D)
- miješanje - najprije se ulije 2/3 vode, aditiv i pijesak, zatim se dodaje cement i ostatak vode te na kraju granule stiropora



EPS beton

Projektiranje sastava teškog betona

- umjerene količine cementa ($300 - 350 \text{ kg/m}^3$)
- vodocementni faktor (v/c) od 0,35 do 0,50
- uobičajena procedura kao za obični beton, ali uz normalno teški agregat upotrebljavamo i puno teži agregat veće gustoće

Karakteristični sastav teških betona:

- cement
- normalno teški agregat
- teški agregat
- vodu
- dodatak

Kelly ball test za ispitivanje konzistencije

- jednostavan i jeftin te se može brzo izvesti na svježem betonu
- brza alternativa testu rasprostiranja slijeganjem
- pogodan je za specijalne mješavine betona kao što su teški betoni
- Kelly ball uređaj - kugla promjera 15 cm pričvršćena za tijelo stupa koji klizi kroz okvir
- kugla se pušta da slobodno pada - mjeri se dubina prodiranja kugle u betonsku mješavinu



Dijelovi Kelly ball uređaja

Razredi tlačne čvrstoće za lake betone

Razredi tlačne čvrstoće	Najmanja karakteristična čvrstoća valjka, $f_{ck, valjka}$ (N/mm ²)	Najmanja karakteristična čvrstoća kocke, $f_{ck, kocke}$ (N/mm ²)
LC8/9	8	9
LC12/13	12	13
LC16/18	16	18
LC20/22	20	22
LC25/28	25	28
LC30/33	30	33
LC35/38	35	38
LC40/44	40	44
LC45/50	45	50
LC50/55	50	55
LC55/60	55	60
LC60/66	60	66
LC70/77	70	77
LC80/88	80	88

Razredi tlačne čvrstoće za teške betone

Razredi tlačne čvrstoće	Najmanja karakteristična čvrstoća valjka, $f_{ck, valjka}$ (N/mm ²)	Najmanja karakteristična čvrstoća kocke, $f_{ck, kocke}$ (N/mm ²)
C8/10	8	10
C12/15	12	15
C16/20	16	20
C20/25	20	25
C25/30	25	30
C30/37	30	37
C35/45	35	45
C40/50	40	50
C45/55	45	55
C50/60	50	60
C55/67	55	67
C60/75	60	75
C70/85	70	85
C80/95	80	95
C90/105	90	105
C100/115	100	115