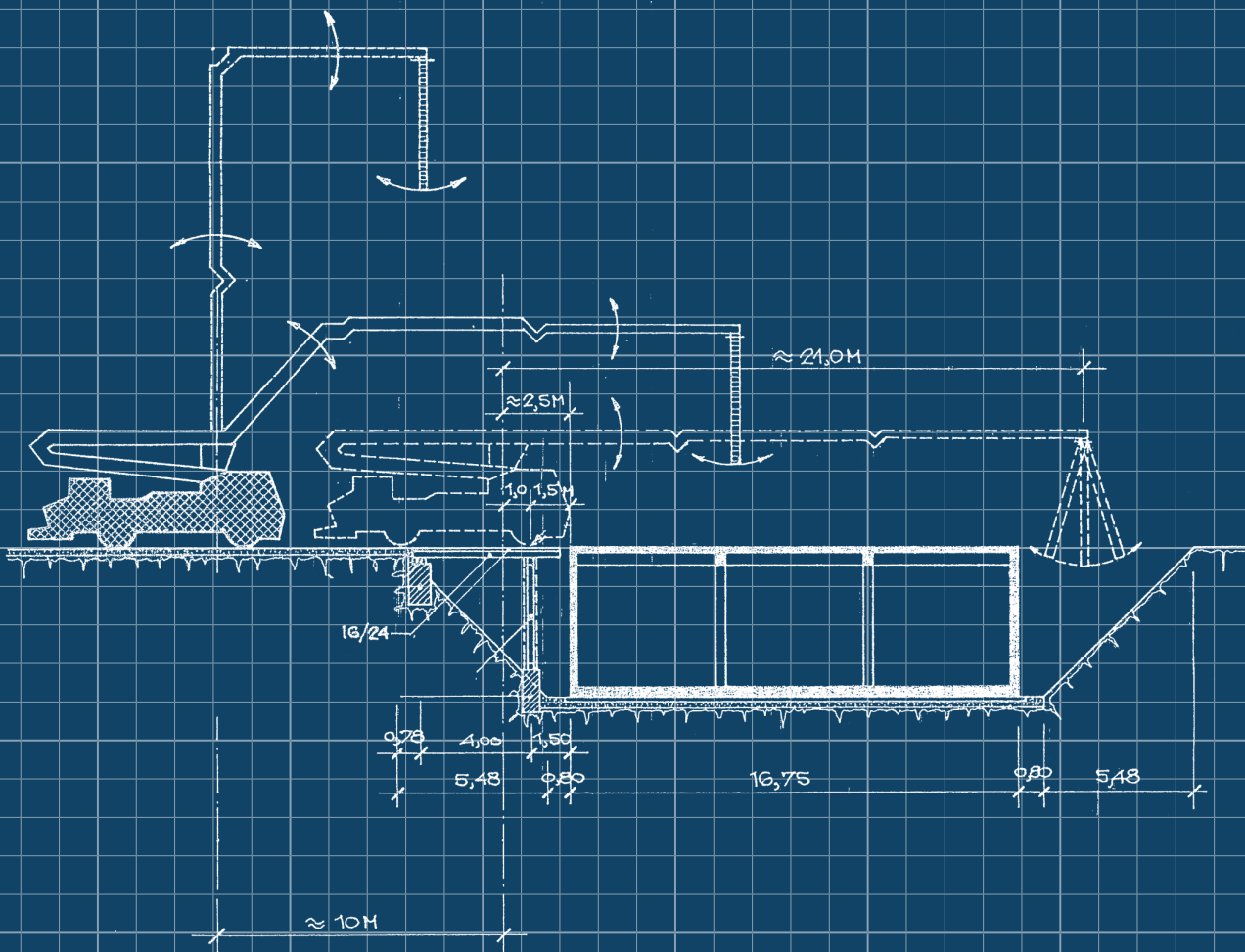


# TEHNOLOGIJA BETONA TEORIJA I PRAKSA

Mihailo Muravljev  
Dimitrije Zakić  
Aleksandar Radević



Beograd, 2022.

# TEHNOLOGIJA BETONA TEORIJA I PRAKSA

Mihailo Muravljev  
Dimitrije Zakić  
Aleksandar Radević

## IMPRESUM

Autori:	Mihailo Muravljev, Dimitrije Zakić, Aleksandar Radević
Naslov:	Tehnologija betona – Teorija i praksa
Izdavač:	Građevinski fakultet Univerziteta u Beogradu, Akademska misao
Za izdavača:	Prof. dr Vladan Kuzmanović, dekan Fakulteta
Recenzenti:	Prof. dr Dragica Jevtić, dipl.inž.teh. Prof. dr Zoran Grdić, dipl.građ.inž. V.prof. dr Branko Milosavljević, dipl.građ.inž.
Dizajn:	Aleksandra Đorđević
Tiraž:	300 primeraka
Štampa:	Planeta print, Beograd
Mesto:	Beograd
Godina izdanja:	2022
ISBN:	978-86-7518-220-7

AUTORI IZRAŽAVAJU VELIKU ZAHVALNOST  
KOMPANIJI MC-BAUCHEMIE D.O.O.  
NA PODRŠCI PRILIKOM IZRADE OVE KNJIGE



---

# PREDGOVOR

Ova knjiga **Tehnologija betona – teorija i praksa** napisana je kao udžbenik, sa ciljem da se u okviru njenog sadržaja u prihvatljivom obimu, bez suvišnih detalja, ali i na dovoljno edukativan i informativan način, obradi problematika savremene tehnologije betona. Pri tome se pošlo od stava da izlaganja u knjizi ne mogu (a i ne treba) da budu isključivo usmerena prema aspektu praktičnih aplikacija predmetne materije u graditeljstvu. Naime, autori smatraju da problematika savremene tehnologije betona zahteva jedan sveobuhvatniji pristup, a što podrazumeva da sve činjenice vezane za beton kao materijal i aspekte primene tehnologije betona u praksi, nužno moraju da budu na adekvatne načine i teorijski obrazložene. To drugim rečima znači sledeće: izlaganja moraju da se zasnivaju na stavovima savremene nauke o materijalima i da uzmu u obzir sve suštinski relevantne parametre – sastav, strukturu, reologiju materijala i dr, odnosno sve one faktore – nazovimo ih „teorijskog” karaktera – koji su preko tehnologije, od bitnog uticaja na praktično sva svojstva betona kao materijala.

Zbog toga je u knjizi dužna pažnja posvećena razmatranjima svih konstituenata savremenih betona (kako uobičajenih-klasičnih tako i onih novijeg datuma), hidrataciji cementa, aspektima formiranja i karakteristikama makro i mikro strukture betona, itd. – kako bi se na bazi toga mogao objasniti i razumeti celokupan kompleks fizičko-mehaničkih, tehnoloških i reoloških karakteristika betona, uz veoma aktuelna pitanja praktično svih njegovih osnovnih eksploatacionih performansi, uključujući tu i njegovu trajnost u uslovima danas, u većini slučajeva, manje ili više agresivnih sredina.

Značajan deo prostora u knjizi posvećen je specijalnim vrstama betona: samougrađujućim, mikroarmiranim, betonima visokih performansi, valjanim, mlaznim, vidnim (natur) i drugim. Ovo je posebno važno sa aspekta savremene tehnologije betona, s obzirom da se radi o kompozitima-aglomeratima koji u odnosu na primenjene komponentne materijale, njihove sadržaje u mešavinama, a najčešće i na korišćenje posebnih tehnoloških postupaka, mogu značajno da se razlikuju od klasičnih betona. Ovde se posebno napominje da se u knjizi govori i o svojstvima i tehnologiji tzv. recikliranih betona, kojima se danas u svetskim okvirima poklanja izuzetna pažnja, s obzirom na veoma aktuelne aspekte ekologije i održivog razvoja.

U knjizi se, za razliku od velikog broja drugih literaturnih jedinica iz oblasti tehnologije betona, u okviru izlaganja materije prevashodno govori o užoj oblasti **tehnologije betona**, bez razmatranja nekih aspekata koji više pripadaju tehnologijama građenja betonskih konstrukcija. Ovo je vezano za činjenicu da je knjiga u prvom redu, kao udžbenička literatura, namenjena studentima Građevinskog fakulteta Univerziteta u Beogradu (ali i ne samo studentima predmetnog fakulteta), pošto izlaganja vezana za građenje betonskih konstrukcija predstavljaju sadržaj posebnog predmeta koji se prema današnjem planu i programu predaje na ovom fakultetu.

Kada je reč o svojstvima betona – kako u svežem tako i u očvrsлом stanju – izlaganja su bazirana na prethodnim objašnjenjima, zasnovanim na bitnim pitanjima sastava, hemijsko-strukturnih i drugih faktora, nakon čega sledi definisanje svih pojmova bitnih za razumevanje određene materije. U vezi sa tim, kao primer može da posluži problem proračunavanja pritisaka svežeg betona na oplatu, koji je u knjizi fenomenološki analiziran i po prvi put na našim prostorima teorijski i sveobuhvatno osvetljen, a isto tako i ilustrovan računskim primerima iz prakse.

U knjizi se dovoljno detaljno obrađuju i postupci projektovanja sastava betona, kao i metode ispitivanja pojedinih svojstava svežeg i očvrslog betona. Ovi postupci, kao i interpretacije dobijenih rezultata ispitivanja, po pravilu su u velikom broju slučajeva zasnovani na relevantnoj i aktuelnoj domaćoj regulativi, koja je danas već gotovo u potpunosti usaglašena sa odgovarajućim evropskim normama. Međutim, u slučajevima kada to nije moguće - zbog nepostojanja odgovarajuće evropske regulative, o ispitivanjima se uglavnom govori ili na bazi još uvek važećih „starih“ domaćih standarda, ili nekih priznatih svetskih standarda (ISO, ASTM, DIN, BS, itd.), pri čemu se u knjizi uvek navode i nazivi dokumenata o kojima je reč.

Posebno poglavlje u knjizi posvećeno je specijalnim postupcima betoniranja koji se primenjuju u savremenom građevinarstvu. Pri tome, prikazane su kako tehnologije koje se prevashodno primenjuju na gradilištu (in situ), tako i one koje su karakteristične za proizvodnju betonskih elemenata u specijalizovanim fabričkim pogonima (tj. pri prefabrikaciji betona).

Dužna pažnja posvećena je i aspektima kontrole kvaliteta betona, zasnovanoj na standardu SRPS EN 206 i domaćem Pravilniku o tehničkim zahtevima za beton (koji je u pripremi). U knjizi je obrađen niz mera koje se preduzimaju da bi se obezbedila usaglašenost performansi betona sa specificiranim zahtevima, tokom projektovanog veka betonske konstrukcije. Predmetne mere odnose se na permanentno praćenje i ispitivanje svojstava betona, kao i njegovih komponenti, u cilju obezbeđenja uslova koji omogućavaju da se zahtevana svojstva nađu u granicama utvrđenim važećim tehničkim specifikacijama.

Autori takođe smatraju da za čitaoce može da bude naročito interesantno i to što se na kraju svakog poglavlja nalaze rešeni numerički primeri, kao i spisak odabranih pitanja, odnosno tema za diskusiju – u vezi sa prethodno izloženom materijom.

Mada sadržaj knjige, po mišljenju autora, nužno karakteriše određeni nivo „teoretskih“ razmatranja, o čemu je prethodno već bilo reči, koncept izlaganja u njoj je takav da joj se ne može osporiti ni visok stepen „praktičnosti“ – neophodan za direktnu primenu izložene materije u praksi. Stoga ona, osim kao udžbenička literatura namenjena studentima građevinskih fakulteta, može da bude od koristi i ne malom broju „svršenih“ građevinskih inženjera – kao svojevrsan informator u vezi naučno-stručnih, ali i praktičnih dometa na planu savremene tehnologije betona.

A U T O R I

# SADRŽAJ

<b>1. UVODNA RAZMATRANJA</b>	<b>1</b>
1.1 OSNOVNI POJMOVI	1
1.2 KRATAK ISTORIJAT PRIMENE BETONA	4
1.3 KOMPONENTE BETONA	9
1.3.1 AGREGAT	9
1.3.1.1 Osnovni uslovi kvaliteta	9
1.3.1.2 Veličina zrna i granulometrijski sastav agregata	13
1.3.1.3 Ostale karakteristike agregata	18
1.3.2 CEMENT	21
1.3.2.1 Uvod	21
1.3.2.2 Vrste cementa	22
1.3.2.3 Zahtevi u pogledu svojstava cementa	24
1.3.2.4 Primena pojedinih vrsta cementa	25
1.3.3 VODA	30
1.3.4 DODACI BETONU	33
1.3.4.1 Opšte	33
1.3.4.2 Hemijski dodaci	33
1.3.4.3 Mineralni - inertni i latentno hidraulički dodaci	41
1.3.4.4 Vlakanasti dodaci	43
1.3.4.5 Zaključne napomene u vezi primene dodataka u betonu	47
PITANJA I TEME ZA DISKUSIJU	49
<b>2. OSNOVNI ASPEKTI PROCESA HIDRATACIJE CEMENTA</b>	<b>51</b>
2.1 VEZIVANJE I OČVRŠĆAVANJE CEMENTA	51
2.2 HIDRATACIJA KAO PROSTORNI (VOLUMENSKI) PROCES	52
2.3 HIDRATACIJA KAO HEMIJSKI PROCES	56
PITANJA I TEME ZA DISKUSIJU	59
<b>3. SVEŽ BETON</b>	<b>61</b>
3.1 UVOD	61
3.2 STRUKTURA SVEŽEG BETONA	62
3.3 REOLOŠKA SVOJSTVA SVEŽEG BETONA	64
3.3.1 Predmet reologije	64
3.3.2 Reološki model svežeg betona	64
3.3.3 Merenje reoloških karakteristika svežeg betona	68
3.4 FAKTORI KOJI UTIČU NA REOLOŠKA SVOJSTVA SVEŽEG BETONA	70
3.5 TEHNOLOŠKA SVOJSTVA SVEŽEG BETONA	72
3.5.1 Uticaj pojedinih faktora na tehnološkičnost svežeg betona	74
3.6 ISPITIVANJE SVOJSTAVA SVEŽEG BETONA	78
3.6.1 Uzimanje uzoraka svežeg betona	78
3.6.2 Ispitivanje konzistencije	79
3.6.3 Ispitivanje zapreminske mase svežeg betona	85



3.6.4 Ispitivanje sadržaja vazduha u svežem betonu	86
3.6.5 Ispitivanje ostalih svojstava svežeg betona	87
<b>3.7 PRITISAK SVEŽEG BETONA NA OPLATU</b>	<b>89</b>
<b>3.8 TEMPERATURA SVEŽEG BETONA</b>	<b>95</b>
<b>3.9 NUMERIČKI PRIMERI</b>	<b>96</b>
PITANJA I TEME ZA DISKUSIJU	99
<b>4. TEHNOLOŠKE OPERACIJE SA BETONOM</b>	<b>101</b>
<b>4.1 UVOD</b>	<b>101</b>
<b>4.2 SPRAVLJANJE BETONA</b>	<b>102</b>
4.2.1 Fabrike betona	103
4.2.2 Mešalice za beton i teorijski kapacitet fabrike betona	111
<b>4.3 TRANSPORT BETONA</b>	<b>115</b>
4.3.1 Sredstva spoljašnjeg transporta	117
4.3.2 Sredstva unutrašnjeg transporta	119
4.3.3 Transportovanje svežeg betona pomoću pumpi	125
<b>4.4 UGRADNJA BETONA</b>	<b>129</b>
<b>4.5 NEGA BETONA</b>	<b>139</b>
<b>4.6 BETONIRANJE U EKSTREMNIM USLOVIMA</b>	<b>142</b>
4.6.1 Uvod	142
4.6.2 Izvođenje radova na niskim temperaturama	143
4.7.3 Izvođenje radova u uslovima povišenih temperatura	156
<b>4.7 NUMERIČKI PRIMERI</b>	<b>162</b>
PITANJA I TEME ZA DISKUSIJU	164
<b>5. OČVRSLI BETON</b>	<b>167</b>
<b>5.1 UVOD</b>	<b>167</b>
<b>5.2 STRUKTURA OČVRSLOG BETONA</b>	<b>169</b>
<b>5.3 FIZIČKA SVOJSTVA</b>	<b>174</b>
5.3.1 Zapreminska masa	174
5.3.2 Upijanje vode	175
5.3.3 Vodonepropustljivost	175
5.3.4 Otpornost na dejstvo mraza	178
5.3.5 Otpornost na dejstvo mraza i soli	180
5.3.6 Otpornost na habanje	182
5.3.7 Otpornost na hemijske agense	183
<b>5.4 MEHANIČKA SVOJSTVA</b>	<b>186</b>
5.4.1 Čvrstoća pri pritisku	186
5.4.2 Čvrstoća pri zatezanju	192
5.4.3 Čvrstoća pri smicanju	194
5.4.4 Čvrstoća betona pri složenim naponskim stanjima	195
5.4.5 Čvrstoća betona pri dinamičkom opterećenju	196
5.4.6 Faktori koji utiču na čvrstoću betona	196
<b>5.5 DEFORMACIONA SVOJSTVA</b>	<b>201</b>
5.5.1 Sekantni modul elastičnosti	204
<b>5.6 REOLOŠKA SVOJSTVA</b>	<b>207</b>
5.6.1 Deformacije skupljanja betona	208

5.6.2 Deformacije tečenja betona	211
5.6.3 Linearno tečenje	213
5.6.4 Relaksacija napona	217
5.6.5 Reološki modeli betona	219
<b>5.7 ISPITIVANJE BETONA U KONSTRUKCIJI METODAMA SA RAZARANJEM</b>	<b>221</b>
5.7.1 Uvod	221
<b>5.8 ISPITIVANJE BETONA U KONSTRUKCIJI METODAMA BEZ RAZARANJA</b>	<b>224</b>
5.8.1 Uvod	224
5.8.2 Metode merenja površinske tvrdoće	225
5.8.3 Metode lokalne destrukcije	229
5.8.4 Metode ispitivanja zrelosti	233
5.8.5 Metode propagacije talasa	234
5.8.6 Električne metode	240
5.8.7 Elektrohemijske metode	241
5.8.8 Elektromagnetne metode	242
5.8.9 ISAT-Test (Test površinske apsorpcije)	244
5.8.10 Metoda linijske mikroskopske analize	245
<b>5.9 ZRELOST BETONA</b>	<b>246</b>
5.9.1 Koncept zrelosti betona	247
5.9.2 Posledice nepoznavanja koncepta zrelosti betona	250
5.9.3 Savremene metode i tehnike za utvrđivanje zrelosti betona	252
<b>5.10 UBRZANO OČVRŠĆAVANJE BETONA</b>	<b>256</b>
5.10.1 Tehnološki postupci	256
5.10.2 Hemijski postupci	258
5.10.3 Fizički postupci	258
<b>5.11 NUMERIČKI PRIMERI</b>	<b>264</b>
PITANJA I TEME ZA DISKUSIJU	<b>268</b>
<b>6. TRAJNOST BETONA</b>	<b>271</b>
<b>6.1 POJMOVI TRAJNOSTI I KOROZIJE BETONA</b>	<b>271</b>
<b>6.2 KLASSE IZLOŽENOSTI</b>	<b>272</b>
<b>6.3 KOROZIONA OTPORNOST AGREGATA</b>	<b>279</b>
<b>6.4 KOROZIONA OTPORNOST CEMENTNE MATRICE</b>	<b>282</b>
<b>6.5 UTICAJ PARAMETARA STRUKTURE BETONA NA TRAJNOST</b>	<b>286</b>
<b>6.6 FIZIČKA KOROZIJA BETONA</b>	<b>291</b>
<b>6.7 KOROZIJA ARMATURE U BETONU</b>	<b>296</b>
<b>6.8 MERE ZA POBOLJŠANJE TRAJNOSTI BETONA</b>	<b>299</b>
PITANJA I TEME ZA DISKUSIJU	<b>305</b>
<b>7. PROJEKTOVANJE SASTAVA BETONA</b>	<b>307</b>
<b>7.1 UVOD</b>	<b>307</b>
<b>7.2 IZBOR KOMPONENTNIH MATERIJALA</b>	<b>309</b>
7.2.1 Agregat	309
7.2.2 Cement	311
7.2.3 Voda	313
7.2.4 Hemijski dodaci	313
<b>7.3 PROJEKTOVANJE BETONSKE MEŠAVINE</b>	<b>314</b>

<b>7.4 PRETHODNE PROBE I KOREKCIJA SASTAVA</b>	<b>322</b>
<b>7.5 NUMERIČKI PRIMERI</b>	<b>324</b>
PITANJA I TEME ZA DISKUSIJU	<b>335</b>
<b>8. SPECIJALNE VRSTE BETONA</b>	<b>337</b>
<b>8.1 UVOD</b>	<b>337</b>
<b>8.2 SAMOUGRAĐUJUĆI BETONI</b>	<b>338</b>
8.2.1 Sastav samougrađujućih betona	339
8.2.2 Metode ispitivanja samougrađujućih betona	340
8.2.3 Primena samougrađujućih betona	343
<b>8.3 MIKROARMIRANI BETONI</b>	<b>344</b>
8.3.1 Sastav mikroarmiranih betona	345
8.3.2 Metode ispitivanja mikroarmiranih betona	345
8.3.3 Primena mikroarmiranih betona	347
<b>8.4 BETONI VISOKIH PERFORMANSI</b>	<b>348</b>
8.4.1 Sastav betona visokih performansi	349
8.4.2 Primena betona visokih performansi	350
<b>8.5 RECIKLIRANI BETONI</b>	<b>351</b>
8.5.1 Betoni sa drobljenom opekrom	353
8.5.2 Betoni sa drobljenim starim betonom	354
8.5.3 Betoni sa gumenim granulatom	356
8.5.4 Betoni sa elektrofilterskim pepelom	357
<b>8.6 MLAZNI BETONI</b>	<b>358</b>
<b>8.7 VALJANI BETONI</b>	<b>360</b>
<b>8.8 BETONI SA POLIMERIMA</b>	<b>362</b>
8.8.1 Polimer betoni	363
8.8.2 Polimerima modifikovani betoni	365
<b>8.9 VIDNI (NATUR) BETONI</b>	<b>366</b>
<b>8.10 OSTALE SPECIJALNE VRSTE BETONA</b>	<b>368</b>
PITANJA I TEME ZA DISKUSIJU	<b>370</b>
<b>9. SPECIJALNI POSTUPCI BETONIRANJA</b>	<b>373</b>
<b>9.1 UVOD</b>	<b>373</b>
<b>9.2 SPECIJALNI POSTUPCI BETONIRANJA NA GRADILIŠTU</b>	<b>373</b>
9.2.1 Tehnologija livenja	373
9.2.2 Podvodno betoniranje	374
9.2.3 Prepakt beton	376
9.2.4 Injektiranje	378
9.2.4 Torketiranje	379
<b>9.3 SPECIJALNI POSTUPCI PRILIKOM PREFABRIKACIJE BETONA</b>	<b>380</b>
9.3.1 Presovanje	380
9.3.2 Vibrovaljanje	383
9.3.3 Centrifugiranje	383
9.3.4 Vakuumiranje	385
9.3.5 Ekstrudiranje	388
<b>9.4 NUMERIČKI PRIMERI</b>	<b>389</b>
PITANJA I TEME ZA DISKUSIJU	<b>393</b>

---

<b>10. KONTROLA KVALITETA</b>	<b>395</b>
10.1 UVOD	395
<b>10.2 KONTROLA KVALITETA BETONA</b>	<b>396</b>
10.2.1 Specifikator betona	397
10.2.2 Specifikacija betona	397
10.2.3 Isporuka svežeg betona	398
10.2.4 Kontrola usaglašenosti i kriterijumi usaglašenosti	399
10.2.5 Kontrola proizvodnje	402
10.2.6 Ocenjivanje usaglašenosti betona	405
10.2.7 Označavanje betona	407
10.3 NUMERIČKI PRIMERI	<b>408</b>
PITANJA I TEME ZA DISKUSIJU	<b>411</b>
<b>LITERATURA</b>	<b>413</b>



# 1. UVODNA RAZMATRANJA

## 1.1. OSNOVNI POJMOVI

---

Pod terminom *beton* u opštem slučaju podrazumeva se širok spektar veštačkih građevinskih materijala tipa kompozita, koji se dobijaju aglomeracijom najmanje dve materijalne komponente – različite kako po hemijskom sastavu, tako i po svojoj prirodi. Reč je, dakle, o složenim materijalnim sistemima, u okviru kojih se zajednički rad komponenata zasniva na uspostavljanju određenih atomskih veza, odnosno na dejstvu različitih unutrašnjih (međumolekulskih) sila. Potpuno logično, kombinovanje materijala o kojima je ovde reč uvek se vrši sa ciljem optimizacije svojstava novodobijenih materijalnih sistema – kako u smislu tehničko-tehnoloških karakteristika, tako i u smislu ekonomskih performansi.

Sa aspekta kompozita koji se koriste u graditeljstvu, u sastav betona uvek ulaze dve osnovne komponente; jedna od njih u praksi se definiše kao *vezivo* (matrica), a druga kao *granulat - agregat* (ispuna).

S obzirom na upotrebljeno vezivo, u graditeljstvu se u opštem slučaju može govoriti o cement-betonu, gips-betonu, kreč-betonu, asfalt-betonu, polimer-betonu, itd. Kao granulati-agregati za spravljanje betona upotrebljavaju se materijali vrlo različitog porekla, koji mogu biti prirodni i veštački. To su:

- prirodno nevezane stene (pesak, šljunak, drobina),
- drobljeni i mleveni kamen, proizveden usitnjavanjem monolitnih stenskih materijala ili prirodno nevezanih stena,
- razni otpadni (reciklirani) materijali na bazi drveta, betona, opeke i dr, kao i izvesni industrijski nusproizvodi (zgura, elektrofilterski pepeo i dr.),
- specijalni agregati proizvedeni radi primene u betonima: ekspandirana glina (tzv.keramzit), ekspandirani perlit, ekspandirani polistiren i dr.

Najširu primenu u graditeljstvu imaju betoni kod kojih se kao vezivo koristi cement, koje bi stoga formalno trebalo zvati cement-betonima ili cementnim betonima, ali je u praksi uobičajeno da se materijali tog tipa nazivaju samo *betonima*. **U vezi sa tim, napominje se da će u ovoj knjizi biti govora isključivo o tehnologiji i svojstvima takvih – „cementnih betona“.**

S obzirom da će predmet narednih izlaganja biti samo betoni koji se dobijaju na bazi cementa kao veziva, kao neophodna komponenta svake mešavine materijala za beton javiće se, logično, još i voda. Međutim, pored napred već navedenih osnovnih konstituenata svakog betona – granulata, cementa i vode – u mešavinama o kojima je reč može da bude prisutna i četvrta komponenta u vidu različitih dodataka betonu – hemijskih, mineralnih, vlaknastih i dr. Mada su, po pravilu, količine ovih dodataka u odnosu na ostale komponente relativno male, ipak se pomoću njih može u velikoj meri uticati na pojedina svojstva svežeg i/ili očvrslog betona.

Napominje se da mešavina komponentnih materijala za dobijanje betona, sve dok ona ne očvrsne (tj. dok je u fazi *strukturirane viskozne tečnosti*), predstavlja tzv. *sveži beton* ili betonsku mešavinu. To znači da se pojam *beton*, u tačnom značenju te reči, odnosi isključivo na materijal koji se dobija prelaskom svežeg betona iz prethodnog kvazi-tečnog u čvrsto agregatno stanje. Ovaj prelaz, pak, predstavlja rezultat odvijanja fizičko-hemijskog procesa poznatog kao *hidratacija cementa*, koji se odvija na relaciji cement-voda, kojom prilikom tzv. cementna pasta (mešavina cement-voda) menja svoje agregatno stanje i prelazi u čvrstu supstancu.

Ne ulazeći ovom prilikom detaljnije u razmatranje betona sa aspekta primenjenih granulata-agregata u smislu njihove prirode, oblika i veličine, važno je da se napomene kako se pod betonima, u najvećem broju slučajeva, podrazumevaju materijali konstituisani od granulata-agregata sa fragmentima (zrnima) krupnoće preko 4 mm. „Betoni“ dobijeni na bazi sitnijih granulata-agregata, u zavisnosti od krupnoća konkretnih fragmenata, po pravilu se nazivaju drugačije – malterima, pastama i sl.

U tehničkoj praksi postoje različite podele betona, ali se kao osnovna obično usvaja podela betona na bazi kriterijuma njihove zapreminske mase. S tim u vezi, betoni mogu da budu:

- laki – sa zapreminskom masom nižom od  $1900 \text{ kg/m}^3$ ,
- obični (normalni) – sa zapreminskom masom između  $1900$  i  $2500 \text{ kg/m}^3$  i
- teški – sa zapreminskom masom višom od  $2500 \text{ kg/m}^3$ .

Ovde se napominje da će okosnica izlaganja u ovoj knjizi biti na običnim (normalnim) betonima, dok će se o lakim i teškim betonima govoriti uglavnom samo informativno – tamo gde to bude neophodno radi boljeg razumevanja nekih pojmova.

Osim prikazane podele na lake, obične (normalne) i teške betone, u novije vreme vrše se i druge podele običnih (normalnih) betona sa zapreminskom masom između  $1900$  i  $2500 \text{ kg/m}^3$ . Jedna od njih je podela prema kriterijumima sastava i ostvarenih tehničko-tehnoloških karakteristika, pa se u vezi s tim betoni dele na:

- samozbijajuće (samougrađujuće),
- mikroarmirane,
- reciklirane,
- betone visokih performansi (čvrstoća),
- valjane (uvaljane) betone,
- polimerima modifikovane cementne betone,
- torkret (prskane) betone,
- vidne ("natur") betone,
- "zelene" betone,
- prepakt betone, itd.

Takođe, moguće je napraviti i odgovarajuću podelu betona prema njihovoj nameni. S tim u vezi, pored osnovne namene tzv. klasičnih betona koji se primenjuju u različitim tipovima betonskih konstrukcija u oblastima visokogradnje i niskogradnje, moguće je definisati i neke posebne vrste betona – čije su specifičnosti vezane za područje njihove primene. Tako na primer, možemo govoriti o:

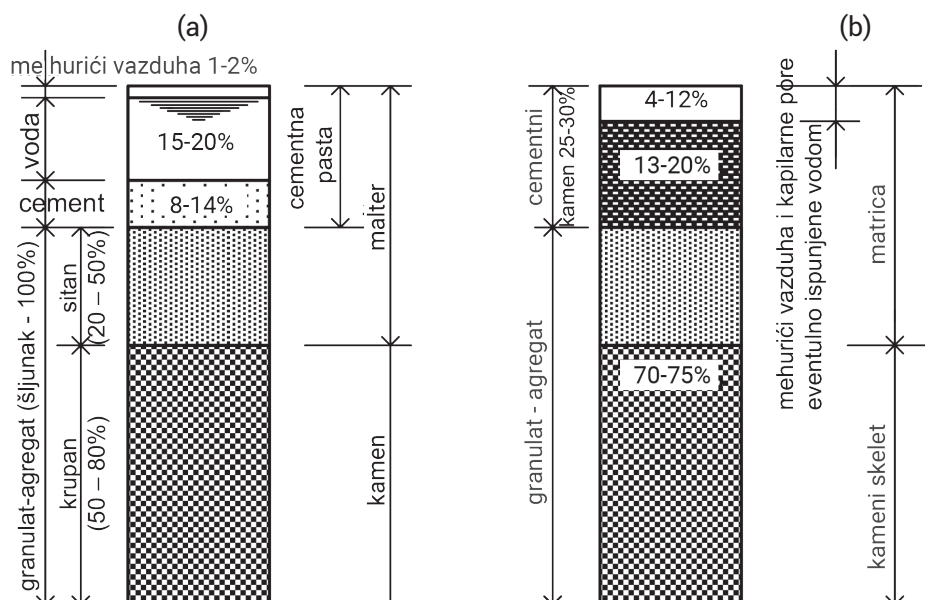
- hidrotehničkim betonima,
- betonima za kolovozne konstrukcije,
- prethodno napregnutim (prednapregnutim) betonima,
- prefabrikovanim betonima,

- termoizolacionim betonima,
- hidroizolacionim betonima,
- zvukoizolacionim betonima,
- betonima za zaštitu od požara,
- betonima za zaštitu od zračenja,
- reparaturnim betonima,
- dekorativnim betonima, itd.

S obzirom na napred definisane pojmove svežeg i očvrsllog betona, ovde se, ilustracije radi, na slici 1.1 prikazuju u globalnom obliku volumenski odnosi konstituenata običnih (normalnih) betona, a što se odnosi kako na stanja u svežim - već ugrađenim mešavinama, tako i na stanja u očvrslim betonima – po okončanju faze ugrađivanja.

Na slici 1.1a vidi se da su u posmatranom svežem ugrađenom betonu, u većoj ili manjoj meri, uvek prisutni mehurići vazduha, pri čemu su određene „praznine“ saglasno slici 1.1b prisutne i u očvrslom betonu. Ovo poslednje je, sa jedne strane, takođe rezultat prisustva zaostalih mehurića vazduha, ali i prisustva pornog prostora koji je u prvom redu posledica karaktera procesa hidratacije cementa. Naime, tokom ovog procesa praktično nikad ne dolazi do hemijskog i fizičkog vezivanja celokupne vode upotrebene pri spravljanju betonske mešavine, pa je to takođe razlog postojanja „praznina“ u očvrslj masi betona.

Volumenski odnosi prikazani u okviru slike 1.1 važe prevashodno pod pretpostavkom primene prirodnog šljunka (ali i drobljenog kamena), kao granulata-agregata za spravljanje betona, pri čemu se napominje da vrlo slični odnosi važe i u slučajevima primene većine drugih granulata-agregata koji se koriste u tehnologijama lakih, običnih (normalnih) i teških betona.



Slika 1.1 – Volumenski odnosi konstituenata prisutnih u svežim (a) i očvrslim (b) betonima običnih (normalnih) zapreminskih masa

Obični (normalni) betoni u najvećem broju slučajeva koriste se u oblasti građevinskih konstrukcija (prevashodno armiranobetonskih, ali i prednapregnutih), tako da se oni u praksi često nazivaju i *konstrukcijskim betonima*.