

Između postupaka koji se u savremenoj tehnologiji primenjuju radi *bržeg vezivanja i očvršćavanja betona* spomenuće se ovde neki koji daju najbolje rezultate. Brzina vezivanja cementa, koja se za gradilišne potrebe mora veštački smanjivati, pri industrijskoj proizvodnji veštački se povećava. To se celishodno može postići dodatkom CaCl_2 u količini od 2% (od količine cementa), čime se vreme početka vezivanja smanjuje približno na polovinu; većim dodavanjem CaCl_2 ubrzava se početak vezivanja još i više. Dodavanje kalcijsva hlorida svežem betonu može imati i druga preimućstva, o kojima je bilo reči. Brže očvršćavanje betona posle sprovedenog vezivanja cementa postiže se dejstvom toplote, bilo pri normalnom atmosferskom pritisku bilo pri *zaparivanju* pod uvećanim pritiskom. Pri normalnom atmosferskom pritisku beton se 8 časova zagreva do $\sim 80^\circ\text{C}$ u ambijentu u koji se pušta vodena para sve do punog zasićivanja; ovi betoni imaju posle 8 časova čvrstoću ravnu približno 60...65% standardne čvrstoće 28 dana posle spravljanja na uobičajeni način. Zaparivanjem u autoklavima pod pritiskom od 8...12 atmosfera postižu se već posle 2 časa vrlo visoke čvrstoće. Prema Brocardu postignute su ovim načinom izrade sa smešom od kvarcitnog agregata, 400 kg super-cementa i 160 kg silicijskog praha, sa vodocementnim faktorom 0,40, a pod pritiskom od 10 atm, sledeće čvrstoće na pritisak: posle 2 časa 780 kp/cm², posle 4 časa 1010 kp/cm², a posle 8 časova dobijen je rekordni podatak od 1240 kp/cm². Skupljanje ovog betona bilo je znatno slabije od betona koji je pripremljen bez zaparivanja; niži je bio i njegov koeficijent toplotnog istezanja.

Između betonskih industrijskih proizvoda koji se kod nas fabrikuju u većem obimu spominjemo niže navedene.

Betonski zidni i tavanačni blokovi savremenog tipa od betona sa lakim agregatima, naročito od kotlovske ili lake topioničke zgure, proizvode se i primenjuju kod nas sve više, te ovi elementi u našem građevinarstvu postepeno zamenjuju klasične materijale, zidnu opeku i dr. Oni se rade raznih oblika i dimenzija. Na sl. 24 prikazana su tri tipa tzv. šljakobetonskih blokova, proizvod „Standardbetona” u Beogradu. Pod *a* je predstavljen normalni blok za nosive zidove, pod *b* blok za ispunu skeletnih i drugih nosivih konstrukcija, a pod *c* blok za tavanačne (međuspratne) konstrukcije. U radioničkoj izradi proizvode se i blokovi drugih dimenzija sa raznim šupljim otvorima, npr. blokovi 25 × 50 × 22 cm ili 25 × 25 × 22 cm.

Laki betoni u svim ranije navedenim oblicima proizvode se naročito mnogo u vidu ploča za zidove montažnog i polumontažnog karaktera, za pregradne zidove, izolacione obloge, tavanačne elemente i dr. Ploče sa agregatom od drvene vune proizvode se pod raznim fabričkim imenima u debljinama od 1,5 do 10 cm, dužine 200 cm a širine 50 cm.

Betonske ploče i pločice (nazvane i «cementne pločice») izrađuju se od 2 sloja, donjeg sa grubljim i gornjeg sa finijim agregatom. Obično se površinskom sloju dodaju postojeane boje i time stvaraju raznoliko obojene površine. Prave se u raznim dimenzijama, često 20 × 20 cm, debljine oko 2 cm. Izrađuju se presovanjem u metalnim kalupima. Specijalnu vrstu ovih ploča čine ploče od *teraca*. Teraco je fini beton od portlandcimenta ili belog cementa i raznobojnog otpornog kamenog agregata. Proizvodi se ne samo industrijskim putem u vidu gornjeg sloja ploča do 50 × 50 cm, već i neposrednim livenjem većih površina na licu mesta; ovim putem se često izrađuju i tzv. hladni podovi hodnika, ste-

peništa, kupatila i drugih sporednih prostorija. Teraco se normalno nanosi na podlogu od običnog betona, a posle očvršćavanja se ručno ili mašinski brus, natapa uljem i polira.

Montažni elementi izrađuju se u bogatom asortimanu kako od teškog tako i od lakog betona. Ova materija, kao i razni drugi proizvodi: elementi međuspratnih konstrukcija (tavanača), kanalizacijske cevi itd., obrađeni su sa odgovarajućeg aspekta u drugim jedinicama ove enciklopedije.

Mnogo su cenjeni proizvodi od betona sa *azbest-cementnim vlaknima*. Poznati su u svetu često pod fabričkim imenom «Eternit», a kod nas pod imenom «Salonit», prema oznaci prve tvornice koja ih je u našoj zemlji proizvodila (v. *Azbest-cementni proizvodi*).

Industrija betonskih proizvoda raznih vrsta i tipova treba da godine 1965 proizvodi, između ostalog, 5 300 000 m² lakih ploča i 360 000 m² lakog betona druge primene, zatim 300 000 000 komada blokova za zidove, 400 000 m² teracoploča, 1 900 000 tona montažnih elemenata za visoke i niske građevine. Time bi godišnja proizvodnja betonskih fabrikata postigla 1965 količinu od $\sim 0,087$ tona po jednom stanovniku naše zemlje.

LIT.: Privremeni tehnički propisi za beton i armirani beton sa Uputstvom za njihovu primenu, Beograd 1947. — *Ministarstvo građevina FNRJ*, Beton, Beograd 1948. — *L. Bendel*, Betonrichtlinien, Zürich, 1948. — *A. Kleinlogel*, Einfüsse auf Beton, Berlin 1950. — *A. Pavlović*, Osnovi tehnologije betona, Beograd 1953. — *K. Klokner i K. Hruban*, Zelenový beton, Praha 1953. — *L'Hermitte*, Idées actuelles sur la technologie du béton, Paris 1955. — *M. Roš*, Zemente für große Talsperren, Zürich 1956. — *J. W. Kelley i J. C. S. Staff*, Izrada nepromočivog betona (prevod), Beograd 1958. — *K. Hruban*, Betonové konstrukce, Praha 1959. — Инструкция по применению бетона с добавками солей таердующего на морозе, Москва 1959. — Инструкция по автоклавной обработке изделий из бетонов на плотных и пористых заполнителях, Москва 1959. — *W. Grün*, Beton-Zusätze, Düsseldorf 1959. — *S. Bechyně*, Technologie betonu I-V, Praha 1959/1961.

J. Hahamović

BETONSKE KONSTRUKCIJE, neojačane, građevinske konstrukcije od betona (v. *Beton*). Svežom plastičnom masom ovog veštačkog kamena popunjavaju se pripremljene oplate, kalupi, temeljne jame, iskopi i sl. zavisno od namene konstruktivnog elementa. To mogu biti npr. podzemni ili nadzemni delovi građevina, montažni građevinski elementi i dr. Docnijim očvršćavanjem i stvrdnjavanjem betona dobivaju se — posle odstranjenja oplate, kalupa itd. i posle eventualne površinske obrade — gotovi betonski elementi, konstrukcije, pa i celi objekti.

Da bi se betonu popravila izvesna njegova slabija svojstva, on se vrlo često upotrebljava u kombinaciji sa drugim materijalima, naročito sa čelikom ili s azbestnim vlaknima, a sve više se podvrgava prethodnom naprezanju. Tako se dobivaju tzv. *ojačani betoni*. U ovom su članku obrađene samo konstrukcije od *neojačanog betona*. Konstrukcije od ojačanog betona obrađene su u ovoj enciklopediji pod drugim naslovima (v. *Armiranobetonske konstrukcije*, *Azbestno-cementni proizvodi*, *Prednaregnuti beton*).

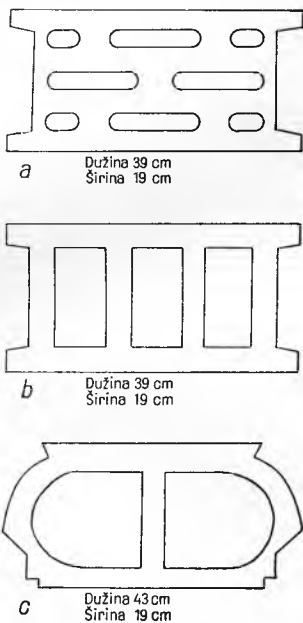
Razvoj betonskih konstrukcija uglavnom je u tesnoj vezi sa razvojem produkcije cementa. Prema tome može se istorija betonskih konstrukcija podeliti u dva razdoblja: prvo, u kojemu se umesto cementa u današnjem smislu, tj. hidrauličkog (u vodi nerastvorljivog) vezivnog sredstva, upotrebljavao kreč sa nekim dodacima, zatim čisti kreč ili pak prirodni cement sa izvesnim hidrauličkim sposobnostima; u drugom razdoblju uglavnom se upotrebljava veštački hidraulički cement. Prvo razdoblje obuhvata vreme od rane prošlosti do početka XIX st. naše ere; drugo razdoblje predstavlja razvoj modernog rada sa betonom.

Još u prvom razdoblju betona sagrađeno je mnogo značajnih građevina, od kojih se veći broj sačuvao do danas. Takav se beton upotrebljavao u Egiptu već oko 3600. npr. za građenje Labirinta i Nimusove piramide. Iz 800 poznate su betonske konstrukcije u gradu Argistihiinli (sadašnji Armavir u SSSR). Na građevinama u Babiloniji pronađeni su delovi izrađeni kao beton, tj. povezivanjem pojedinih manjih kamena sa cementirajućim vezivom. Jedan od najvećih objekata za koji se delimično upotrebljavao beton predstavlja veliki Kineski zid iz III st. Iz prvog razdoblja betona mogu se spomenuti grčke i kartaginske konstrukcije od betonskog materijala, npr. akvedukt u Argosu.

Betonske su konstrukcije više primenjivali Rimljani koji su dodavali kreču neku pucoloznu materiju, te su time dobivali vezivo otporno prema vodi. Ovu materiju nazivali su *caementum*, a građevinski materijal dobiven povezivanjem kamenih zrna sa ovim vezivom *betunium*. Rimljani su betunium upotrebljavali za najrazličitije građevine; tako su za građenje pristaništa u mestu Puteoli (Pozzuoli) kod Napulja upotrebljavali betunijske blokove. Od tog su materijala gradili mostove (npr. Kaligulin most) i zgrade (npr. Panteon u Rimu, sa kupolom promera 42,7 m, delimično od betunijuma). Upotreba betunijuma za hidrotehničke, saobraćajne i stambene objekte proširila se pod uticajem Rimljana u sve krajeve njihove imperije, osobito u današnju Francusku, Španiju, a i u naše krajeve.

Posle propasti Rimske imperije građevinarstvo je u svim područjima bivše države privremeno palo na niži nivo. U docnijim epohama potreba betunijuma je uglavnom zaboravljena, a od rimskih iskustava zadržala su se u upotrebi prvenstveno ona koja su se odnosila na konstrukcije od kamena, opeke i drveta. Od materijala izrađenih u vidu betona upotrebljavaju se samo betoni sa vezivom od kreča, gline ili gipsa; sva ova veziva su neotporna ili malo otporna u vodi.

Novo doba u razvoju betonskih konstrukcija nastaje tek sa izumom pravih hidrauličkih cementa. Već krajem XVIII st. pronašao je Englez Parker *romancement*, otporan protiv vode, što je tada ostalo bez većih praktičnih rezultata. Za dalji napredak važne su studije Francuza Vicata, početkom XIX st., koje su omogućile industrijsku produkciju cementa otpornog u vodi. Nešto kasnije



Sl. 24. «Šljakobetonski» blokovi

vrše studije Rus Čeljevi i Englezi Aspdin i Robins; sredinom XIX st. je hidraulički cement već bio opšte poznat, te se i industrijski proizvodio u mnogim zemljama.

Izum hidrauličkog cementa i njegova industrijska proizvodnja omogućavaju nov razvoj betonskih konstrukcija u najrazličitijim oblastima građevinarstva. Posle izuma armiranog betona (Monier 1867) ovaj materijal u velikoj meri preuzima ulogu neojačanog betona, jer se betonu mnogih konstrukcija — pa i u slučaju da armatura nije bezuvetno potrebna — armatura ipak dodaje radi veće sigurnosti i solidnosti objekta. U područje armiranog betona prodire kasnije najnovija vrst ojačanog betona, prednapregnuti beton (Freyssinet 1928), tako da se u razvoju ovih dveju vrsti betona može videti dalji razvoj betonskih konstrukcija. Trećom novijom vrstom betonskih konstrukcija može se smatrati *vlaknasti beton*, čija se azbestna varijanta označuje kao *azbest-cement*.

Mada su armirani, prednapregnuti i vlaknasti betoni u građevinarstvu vrlo značajni, ipak se neojačani ili nearmirani beton mnogo upotrebljava u današnjem građevinarstvu; čak se i neki najveći građevinski objekti izrađuju baš od nearmiranog betona, npr. razni hidrotehnički objekti. Od najvećih betonskih konstrukcija na svetu treba spomenuti ove: brana Grand Coulee (USA) sa oko 8 miliona m³ betona, Glen Canyon (USA, u gradnji), Volgogradski hidročvor (SSSR) sa oko 7 miliona m³ betona, brana Grande Dixence (Švajcarska) sa oko 6 miliona m³ betona. U Jugoslaviji su po utrošenoj količini betona najveći ovi objekti: brana Grančarevo (BiH, u gradnji) sa oko 360 000 m³ betona, brana Jablanica (BiH) sa oko 130 000 m³ betona, brana Moste (Slovenija) sa oko 72 000 m³ betona. Po kubaturi ugrađenog materijala mogu se samo još zemljane konstrukcije (nasipi, zemljane brane i slično) meriti sa veličinama nearmiranih betonskih konstrukcija; kamene, armirane betonske i prednapregnute betonske konstrukcije znatno zaostaju u tom pogledu. Sa tog gledišta zaostaju još mnogo više čelične konstrukcije, drvene konstrukcije i konstrukcije od drugih materijala.

Primena betonskih konstrukcija, tj. konstrukcija od neojačanog betona, ograničena je na one vrste građevinskih elemenata u kojima se uglavnom pojavljuju naponi pritiska ili se pojavljuju naponi zatezanja u vrlo maloj meri. U takvim uslovima može neojačani beton lako konkurisati u ceni ojačanom betonu, drvetu i čeliku.

Sa gledišta primene neojačanih betonskih konstrukcija u savremenom građevinarstvu karakteristično je pet glavnih vrsta ovog materijala: nosači beton, zaštitni beton, beton kao balast, beton kao ispuna i dekorativni beton.

Nosači beton je materijal koji uglavnom ima svrhu da u konstrukciji nosi neko određeno opterećenje. U toj primeni beton ima obično oblik stupa, luka, zida, svoda ili kupole; drugi oblici, npr. nosači i ploče, dolaze u obzir mnogo manje, jer u njima nastupaju i znatni naponi na zatezanje. Prvonavedeni elementi, u kojima vladaju uglavnom samo naponi na pritisak, uobičajeni su u svim građevinskim konstrukcijama: u zgradarstvu, u saobraćajnim objektima, u hidrotehnicima itd. Nosači beton primenjuje se vrlo mnogo, jer se od tog materijala mogu izradivati konstrukcije proizvoljnog oblika. Za komplikovanije konstrukcije samo je oplata nešto skuplja, a inače se izvode kao i oblikom jednostavne konstrukcije. To je veliko preimućstvo u odnosu na čelik i drvo, gde se već sa lukovima i svodovima pojavljuju konstruktivne teškoće, a pogotovu sa kupolama i drugim vrstama ljsaka.

Što se tiče troškova, betonske konstrukcije su jeftinije nego konstrukcije od ostalih materijala. Npr. jednostavna konstrukcija stupa, pri istom opterećenju i istoj dužini, u običnim prilikama je najjeftinija kad je od neojačanog betona. Ako se za cenu takvog stupa uzme vrednost 1,0, može se za drveni stup iste moći nošenja i dužine usvojiti vrednost 1,1...1,2, za armirani betonski stup sa malo armature ~ 1,3, za jače armirani stup ~ 2,0; za čelični stup odgovarajuća vrednost iznosi ~ 3,5. Kako se vidi, drvo još najbolje konkuriše betonu, a i to samo u slučaju kad je zaštićeno, tj. kad mu je trajnost najmanje 50 godina. Uzevši pak u obzir nezaštićeno drvo, koje se mora npr. svakih 20 godina zameniti, dobiva se za drvo vrednost ~ 1,8, a uz zamenu svakih 10 godina čak 2,8 (uz cene g. 1959, kad je ovaj članak napisan).

Zaštitni beton u manjoj meri ima zadatak nošenja, već pokriva, odnosno štiti teren ili neku konstrukciju od habanja ili drugih oštećenja, a svojom glatkom površinom smanjuje trenje pri transportu po toj površini. U tu svrhu primenjuje se beton u zgradarstvu za podove (npr. kao obloga armiranih konstrukcija, za podove radioničkih i drugih hala i slično), za vaznu površinu na cestama, avionskim stazama i drugim saobraćajnim konstrukcijama, zatim za oblaganje profila reka, kanala i rovova u hidrotehnicima. U svim tim konstrukcijama betonu je u poređenju s ostalim materijalima prednost niska cena, jednostavna upotreba i znatni otpor prema oštećenjima od saobraćaja, vlage, vode, mraza i drugih uticaja. Specijalnim dodacima betonskoj mešavini ovi se kvaliteti mogu i poboljšati.

Beton kao balast ima namenu da svojom težinom daje stabilnost raznim konstrukcijama. Za ovu potrebu je beton naročito pogodan zbog svoje velike zapremine težine i razmerno niske

cene. On se primenjuje za usidrenje antenskih i sličnih stupova, gradnju potpornih zidova i druge slične potrebe. Monolitni betonski blok je sigurniji od kamenog zidanog sklopa, koji je eventualno izložen znatnim naponima u spojnicama između pojedinih kamena.

Beton kao ispuna upotrebljava se za jednostavno popunjavanje šupljih prostora. Na lučnim mostovima se npr. mesto ispune prostora između parapetnih zidova zemljom ili šljunkom pravi ispuna od betona. Na taj se način uklanjaju horizontalni zemljani pritisci na parapetne zidove. Analogne prednosti betona kao ispune dolaze u obzir u zgradarstvu i na hidrotehničkim objektima. Pri upotrebi specijalnih betona male zapremine težine, tzv. lakih betona, mogu se pored male težine materijala ispune postići i dobri izolacioni uslovi (sa gledišta toplotne i zvučne izolacije).

Dekoratívni beton dolazi u obzir za arhitektonsko ulepšavanje konstrukcija, npr. kad se želi ulepšati zgrada ornamentima, da bi se razgraničila površina. U tom se slučaju upotrebljavaju i specijalni betoni, npr. beton u boji, pri čemu se siva boja običnog betona dodatkom postojećih boja menja u neku drugu boju. Ako se pak teraco-betonu dodaju kamena zrna raznih živih boja, na šarolik se način menja normalna boja betona. U savremenom građevinarstvu često prevladava mišljenje da je beton sam po sebi lepog izgleda i da nije potrebno korigovati izgled njegovih površina. Za tako neobrađeni beton preporučuje se da daske oplata budu blanjane i raspoređene po izvesnom sistemu. Taj se način mnogo primenjuje u hidrotehničkim i saobraćajnim konstrukcijama, a tako se sve više postupa i u zgradarstvu.

Jasno je da se isti beton može istovremeno koristiti i u dve ili u više svrha. Tako npr. zaštitni beton može istovremeno biti i nosači, a to još više povećava konkurentnost betona u odnosu na ostale materijale.

Veliko preimućstvo betona pred ostalim materijalima predstavljaju i mali troškovi održavanja. Prednost je betona i u tome što se njegovi sastojci, kameni agregat i voda, mogu naći skoro svagde u velikim količinama, a sirovine za proizvodnju trećeg glavnog sastojka, cementa, nalaze se skoro u svim zemljama. U našoj državi, zahvaljujući velikim količinama sirovina, postoji veoma razvijena industrija cementa, pa su već zbog toga betonske konstrukcije kod nas vrlo ekonomične.

Opšte konstruktivne karakteristike betonskih konstrukcija. Iz napred izloženog vidi se da se beton upotrebljava u mnoge svrhe gde je bitna kontrola napona i deformacija. Skoro u svakoj primeni ova je kontrola potrebna, bilo direktno za dimenzioniranje bilo kao kontrola sigurnosti. Ona se provodi za konstrukcije na razne načine; u nastavku su dati glavni principi ovog proračunavanja, a ujedno i glavne tehničko-konstruktivne karakteristike betonskih konstrukcija.

Dimenzioniranje i kontrola sigurnosti provodi se uvek s obzirom na predviđenu, odnosno postignutu čvrstoću betona. Obično se merodavnom smatra čvrstoća na pritisak, što je predviđeno i našim propisima za beton i armirani beton. Ova čvrstoća u kp/cm² kratko se naziva *marka* betona. Radi jednostavnijeg projektovanja, po našim se propisima uzimaju u obzir samo pojedine marke betona, i to: 70, 110, 160, 220, 300 i 380. Za sve ove marke propisi navode dopuštene napone, i oni zavise po našim propisima samo od postignute marke betona, bez obzira na njegov sastav. Samo za izvijanje pravi se razlika između običnog betona i betona visoke otpornosti; s potonjim se dobiva određena čvrstoća uz manju količinu cementa, a uz bolji kvalitet sastojaka i bolju obradu.

S obzirom na *statička opterećenja*, dimenzioniranje i kontrola razlikuju se prema vrsti naprezanja, koje može biti centrični pritisak, centrično zatezanje, savijanje, savijanje sa uzdužnom silom, smicanje, torzija ili ekscentrična torzija. U svim tim računima pretpostavlja se da je beton elastičan materijal, u kojemu napon raste proporcionalno sa deformacijom. Obično se pretpostavlja da beton prima samo napone pritiska (tlaka) i da u zoni zatezanja (vlače) nastaju pukotine, čime se naponi zatezanja eliminišu. Ukoliko u tim uslovima konstrukcija ne pokazuje dovoljnu sigurnost, treba je armirati ili izmeniti. Izuzetno se dopuštaju i mali naponi na zatezanje. Ipak se u nekim slučajevima betonski presek računa kao da bez ograničenja prima i napone na zatezanje (vlačne). To samo zbog informacije kakvi bi vlačni naponi nastali kad bi ih beton mogao primiti.

U slučaju *centričnog pritiska* pretpostavlja se ravnomerni napon pritiska σ_p na celoj površini preseka F . Ako sila pritiska ima vrednost P , tada je

$$\sigma_p = P/F, \quad (1)$$

pri čemu vrednost σ_p mora biti manja od dopuštene vrednosti $(\sigma_p)_{dop}$. U slučaju da je vitkost konstrukcije manja od $\lambda_k = 35$, važe vrednosti $(\sigma_p)_{dop}$ (sa oznakom σ_s) prema tablici 1.

Tablica 1

Marka betona	70	110	160	220	300	380
σ_s (kp/cm ²)	10	18	25	35	50	60

Ako je vitkost veća od 35, treba uzeti u obzir sledeće dopuštene napone $(\sigma_p)_{dop}$, označene sa σ_k (sve u kp/cm²):

- a) za obični beton: $\sigma_k = \sigma_s + 10 - 0,3 \lambda_k$, (2a)
- b) za beton visoke otpornosti: $\sigma_k = \sigma_s + 14 - 0,4 \lambda_k$. (2b)

U slučaju *centričnog zatezanja* pretpostavlja se ravnomerni napon zatezanja σ_z na celom preseku F . Normalno se ne pretpostavlja ma kakva čvrstoća betona na zatezanje, tako da je načelno potrebno konstrukciju armirati ili izmeniti. Informativno se dobiva napon zatezanja po jednačini

$$\sigma_z = Z/F, \quad (3)$$

gde je Z sila zatezanja.

U duhu naših propisa za beton i armirani beton mogle bi se interpolacijom i ekstrapolacijom predvideti vrednosti napona $(\sigma_z)_{sлом}$, pri kojima postoji opasnost sloma zbog pojave velikih napona zatezanja kao i vrednosti napona $(\sigma_z)_{sig}$, uz koje se sa sigurnošću može računati da do sloma neće doći. Vrednosti $(\sigma_z)_{sлом}$ i $(\sigma_z)_{sig}$ date su u tablici 2, informativno, za praktičnu upotrebu.

Tablica 2

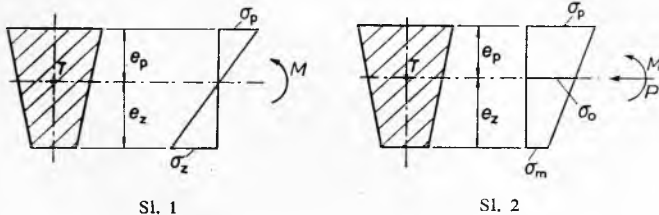
Marka betona	70	110	160	220	300	380
$(\sigma_z)_{sлом}$ (kp/cm ²)	6	9	12	15	18	20
$(\sigma_z)_{sig}$ (kp/cm ²)	2	3	4,5	6	7,5	8

Pri *čistom savijanju* nastupa u pritisnutoj zoni ivični napon pritiska σ_p , a u zategnutoj zoni ivični napon zatezanja σ_z (sl. 1; u toj i u sledećim slikama T označava težište preseka). Zbog pretpostavke da beton ne podnosi napone zatezanja treba u slučaju čistog savijanja konstrukciju armirati ili inače izmeniti. Radi informacije mogu se dostignuti ivični naponi računati po jednačinama

$$\sigma_p = M/W_p, \quad \sigma_z = M/W_z, \quad W_p = J/e_p, \quad W_z = J/e_z, \quad (4abcd)$$

gde su: M moment savijanja, W_p i W_z momenti otpora sa obzirom na pritisnutu, odnosno zategnutu ivicu preseka, J moment inercije preseka, e_p i e_z vrednosti prema sl. 1. Za pravokutni presek važi (sl. 5): $J = bh^3/12$, $e_p = e_z = h/2$, $W_p = W_z = bh^2/6$.

Ukoliko vrednost σ_z pređe vrednost $(\sigma_z)_{sлом}$ po tablici 2, može se pretpostaviti slom nearmirane konstrukcije kao posledica oštećenja u zoni zatezanja. Ukoliko je taj napon manji od $(\sigma_z)_{sig}$ u istoj



tablici, postoji dovoljna sigurnost da se konstrukcija i bez armature neće slomiti; ipak se, u smislu propisa, i u ovom slučaju zahteva armiranje ili drugi način ojačanja.

Za *savijanje sa uzdužnom silom* važi, u slučaju dejstva tlačne uzdužne sile P i momenta savijanja M , dijagram napona prema sl. 2. Ivični naponi σ_p i σ_m i težišni napon σ_0 pronalaze se na osnovu jednačina

$$\sigma_p = P/F + M/W_p, \quad \sigma_m = P/F - M/W_z, \quad \sigma_0 = P/F, \quad (5abc)$$

gde je F površina preseka, a W_p i W_z momenti otpora kao za čisto savijanje. Za pravokutni presek prema sl. 5 važi, ako se uvede $e = M/P$:

$$\sigma_p = \sigma_0(1 + 6e/h), \quad \sigma_m = \sigma_0(1 - 6e/h), \quad \sigma_0 = P/b \cdot h.$$

Ukoliko je moment malen, vrednost σ_m je pozitivna, na celom su preseku naponi pritiska. Tada je dovoljno dokazati da je maksimalni ivični napon σ_p manji od dopuštenog ivičnog napona σ_r (po tabl. 3) i da je težišni napon σ_0 manji od dopuštenog težišnog napona σ_s (tabl. 1, za $\lambda_k \leq 35$)

Tablica 3

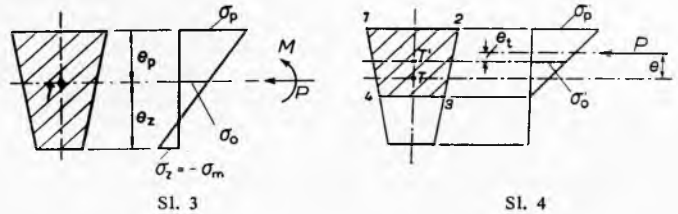
Marka betona	70	110	160	220	300	380
σ_r (kp/cm ²)	15	25	35	50	70	85

U slučaju opasnosti od izvijanja ($\lambda_k > 35$) preporučuje se kontrola:

$$\sigma_0 \cdot (\sigma_s/\sigma_k) + M/W_p \leq \sigma_r, \quad \sigma_0 \leq \sigma_k, \quad (5de)$$

gde je σ_k vrednost po jedn. (2 ab).

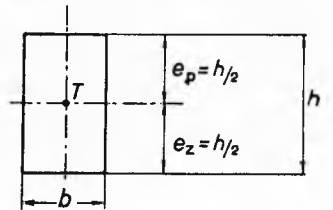
Ako u slučaju većeg momenta vrednost σ_m postane negativna, dobivaju se na toj ivici naponi zatezanja $\sigma_z = -\sigma_m$ (sl. 3). Ukoliko su ti naponi maleni, tj. $\sigma_z \leq \sigma_p/10$, dopušta se po pro-



pisima računanje prema jednačinama (5). Ako pak taj uslov nije ispunjen, ne smeju se uopšte uzimati u obzir naponi zatezanja. Treba pretpostaviti da je pod uticajem tih napona zategnuta zona u toj meri raspukla da stvarno nosi još samo pritisnuta zona (sl. 4). U tom slučaju treba odrediti odgovarajuću liniju 3-4, čime se dobiva lik 1-2-3-4-1 koji predstavlja novi, potpuno pritisnuti presek F' sa težištem T' , u kojemu je napon na donjoj ivici σ_m , prema jedn. (5 b), jednak nuli. (Vrednosti F i W_z uzete su za novi presek F' ; analogno i moment M , koji sad dobiva vrednost $M' = Pe_p$, prema sl. 4). Za novi presek važe naponi σ_p' , σ_0' za koje su uslovi sigurnosti isti kao i za napone σ_p , σ_0 ; dobivaju se po jednačinama

$$\sigma_p' = P/F' + M'/W_p', \quad \sigma_m' = P/F' - M'/W_z' = 0, \quad \sigma_0' = P/F'. \quad (6abc)$$

Vrednosti F' , W_p' , W_z' odnose se na novi presek 1-2-3-4-1. Pri izvijanju treba uzeti u obzir da se vitkost izračunava sa obzirom na novi presek, pa u jednačinu (5d) treba uvesti vrednosti M' i W_p' (mesto M i W_p). Položaj linije 3-4 treba za opšti presek odrediti na osnovu pokusa, a za pravokutni presek važe jednostavni rezultati (v. sl. 5):

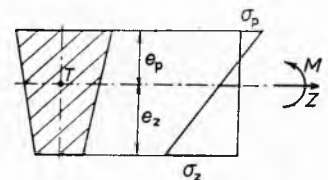


Sl. 5

$$\sigma_p' = 2P/3xb, \quad \sigma_0' = P/3xb, \quad x = \frac{h}{2} - e, \quad e = \frac{M}{P}. \quad (7abcd)$$

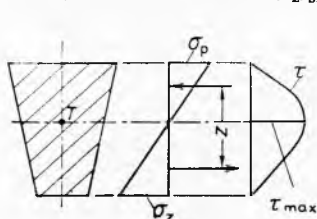
Ako ekscentričnost $e = M/P$ postane veća od e_p , račun po jednačinama (6) nije više moguć, budući da σ_p' već za $e = e_p$ prelazi sve granice. U tom slučaju, kao i u slučaju kad je osna sila zatezanje (sl. 6), treba konstrukciju armirati ili izmeniti.

Za informativnu kontrolu vlačnih napona σ_z u svim tim



Sl. 6

slučajevima može se upotrebiti jednačina (5 b), $\sigma_z = -\sigma_m$; kad je u pitanju vlačna sila Z , uvodi se $P = -Z$. Za upoređenje se uzimaju u obzir vrednosti $(\sigma_z)_{\text{slom}}$ i $(\sigma_z)_{\text{sig}}$ po tablici 2.



Sl. 7

U slučaju dvojne ekscentričnosti, tj. kad rezultanta ne leži na jednoj od glavnih osa preseka, važe analogni principi računa sa komplikovanijim formulacijama, pa se za te slučajeve ukazuje na specijalnu literaturu.

Ako je presek napregnut silom smicanja, dobivaju se naponi smicanja prema sl. 7. Maksimalni napon smicanja je približno u težišnoj osi i iznosi otprilike

$$\tau_{\max} = Q/z b_0. \quad (8)$$

Pri tom je u slučaju čistog savijanja Q sila smicanja, z udaljenost rezultanta pritisnute i zategnute zone; b_0 je širina nosača u težišnoj osi. Za nosače sa konstantnim pravokutnim presekom jednačina (8) odgovara tačno, pa se za $z = \frac{2}{3} \cdot h$ dobiva:

$$\tau_{\max} = 3Q/2bh.$$

U našim propisima nisu direktno navedeni dopušteni naponi za smicanje u nearmiranom betonu. U smislu analognih propisa za armirani beton može se usvojiti da je $\tau_{\text{dop}} \approx \sigma_s/2$, što je za pojedine marke svrstano u tablici 4 (σ_s po tablici 1).

Tablica 4

Marka betona	70	110	160	220	300	380
τ_{dop} (kp/cm ²)	5	9	12	18	25	30

Treba napomenuti da se zajedno sa naponima smicanja često pojavljuju i naponi zatezanja (kao glavni naponi, u ravni koso na ravan smicanja τ_p). Vrednost tog napona zatezanja, ako u preseku osim napona smicanja τ_p deluje i napon pritiska σ_p , iznosi

$$(\sigma_z)_{\max} = \sqrt{(\sigma_p/2)^2 + \tau_p^2} - \sigma_p/2; \quad (9)$$

ako nema napona pritiska, npr. u neutralnoj osi, važi za $\sigma_p = 0$:

$$(\sigma_z)_{\max} = \tau_p.$$

U armiranom betonu nije potrebna armatura za preuzimanje napona $(\sigma_z)_{\max}$ ako su ti naponi manji od $(\sigma_z)_{\text{sig}}$. Za nearmirani beton, gde nema ni uzdužne armature, trebalo bi uzeti još manju vrednost; specijalnih propisa o tome nema. Tu bi se eventualno mogle smanjiti vrednosti $(\sigma_z)_{\text{sig}}$ u odnosu na dopušteni napon pritiska u težištu, za nearmirani kao i za armirani beton, a najbolje bi bilo ove napone preuzeti armaturom, bez obzira na njihovu veličinu.

Prilikom naprezanja od momenta uvijanja (torzije) javljaju se, naročito na konturi preseka, naponi smicanja. Pri torzijskom momentu U i torzijskom momentu otpora X izlazi maksimalni napon smicanja

$$(\tau_u)_{\max} = U/X. \quad (10)$$

[Za pravokutni presek sa dužom stranicom h dobiva se za tačku u polovini te stranice: $X = b^2 \cdot h/m$, $m = 3 + 2,6/(0,45 + h/b)$, prema Bachu]. Za dopuštene napone smicanja i glavne napone zatezanja važi slično kao za smicanje.

U slučaju ekscentrične torzije, tj. kad na presek deluje istovremeno sila smicanja i moment torzije, dobivaju se naponi smicanja τ_{pu} tako da se zbroji napon smicanja usled sile smicanja (τ_p) i torzijskog momenta (τ_u); prema tome je $\tau_{pu} = \tau_p + \tau_u$. Vrednost τ_{pu} mora na najnepovoljnijem mestu biti manja od τ_{dop} ; dodatno treba kontrolisati i glavne napone zatezanja na najnepovoljnijem mestu, analogno kao za čisto smicanje, uzimajući u obzir napon smicanja τ_{pu} .

Pored kontrole konstrukcije s obzirom na statičko opterećenje, često je potrebno provesti kontrolu i s obzirom na stabilnost i na dinamička opterećenja.

Prilikom kontrole stabilnosti treba proveriti mogućnost prevrtanja i mogućnost klizanja konstrukcije. Obično se pri tom traži

faktor sigurnosti ν u iznosu oko 1,5, a najmanje 1,3. Za važnije konstrukcije preporučuje se da taj faktor bude iznad 1,5.

Sigurnost protiv prevrtanja proverava se najjednostavnije tako da se izračuna moment sila prevrtanja M_{pa} s obzirom na tačku prevrtanja a (sl. 8). Zatim treba naći moment sila otpora M_{oa} s obzirom na istu tačku, te radi sigurnosti mora biti

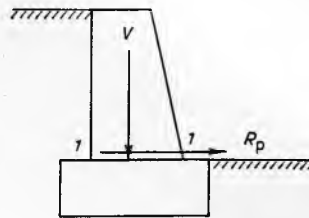
$$M_{oa} \geq \nu \cdot M_{pa}. \quad (11)$$

Ipak se na taj način nema uvid u veličinu napona ako na konstrukciju deluje uvećani moment $M_{pa}' = \nu \cdot M_{pa}$. Zato je bolje uzeti drugi način kontrole, pa izračunati napone za slučaj delovanja momenta M_{pa}' , koji za postizanje sigurnosti moraju biti manji od običnih napona uvećanih faktorom ν .

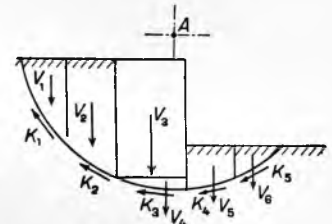
Mogućnost klizanja konstrukcije kontrolise se tako da se izračuna rezultujući potisak R_p (sl. 9) za kliznu površinu $I-I$. Zatim se izračuna odgovarajuća otporna sila trenja R_t . U interesu sigurnosti mora važiti:

$$R_t \geq \nu \cdot R_p. \quad (12)$$

Otporna sila trenja izračuna se na taj način da se težina V koja utiče na trenje pomnoži sa faktorom trenja t : $R_t = t \cdot V$. Vred-



Sl. 9



Sl. 10

nosti t iznose: za slučaj trenja beton-beton $t \approx 0,75$; za beton-zemljište $t = 0,30$ (kad je zemljište vlažno i mekano) do $t = 0,65$ (kad je zemljište suho i tvrdo); za beton-drvo $t = 0,45 \dots 0,60$, za beton-čelik, $t = 0,45$). Osim toga često je potrebno kontrolisati i klizanje u samom terenu, s obzirom na opterećenje terena konstrukcijom. Najjednostavnije je pretpostaviti klizanje po kružnoj površini (sl. 10), sa središtem kruga u tački A . Moment klizanja M_{ka} dobija se kao suma svih momenata sila V u odnosu na tačku A (uzevši u obzir težinu terena iznad površine klizanja i težinu konstrukcije), a moment otpora M_{oa} kao suma momenata svih sila trenja K s obzirom na istu tačku (sile trenja izvriju iz sila težina V). Da se postigne sigurnost, mora da je $M_{oa} \geq \nu \cdot M_{ka}$; merodavna je ona tačka A za koju je sigurnost M_{oa}/M_{ka} najmanja. Ovu tačku treba naći pokusom.

Ako se u betonskim konstrukcijama javljaju dinamička opterećenja, npr. udari vozila, udari točkova kranskih staza i slično, računa se sa stvarnim težinama vozila, točkova itd., pomnoženim faktorima udara u , pa se dalje računa kao da su u pitanju statičke sile.

Za mostove na cestama dobivaju se faktori u prema tehničkim propisima za opterećenje mostova na putevima: $u = 1 + (550 + 5L)/100(10 + L)$, za tavanice preko kojih prolaze vozila, prema propisima za opterećenje zgrada: $u = 1 + (550 + 5L)/200(10 + L)$, gde je L raspon konstrukcije. Za uticaje kranova važe vrednosti $u = 1,00 \dots 1,60$, u smislu istih propisa.

Dejstvo potresa uzima se u obzir tako da se stvarne težine konstrukcija (uključivo sa stvarnim korisnim opterećenjem) pomnože faktorima u , te se ovi produkti uzimaju kao horizontalne sile. Podaci su prema propisima za opterećenje zgrada: $u = 0,01 \dots 0,03$, a prema specijalnim propisima $u = 0,01 \dots 0,30$, pri čemu veće vrednosti važe u slučaju povećanih dopuštenih napona.

Dejstvo rotirajućih mašina usled kojeg opterećenje konstrukcije varira po zakonu $P_t = P \sin(m t)$ (gde je t vreme, P maksimalni iznos sile P_t bez obzira na uticaj rezonancije, $m = 2\pi/T_m$. T_m je vreme jednog okreta mašine) računa

se kao statičko opterećenje $P_s = \pm u P$, gde je vrednost u data jednačinom: $u = 1 : \left(1 - \frac{m^2}{w^2}\right)$. Pri tom je $w = 2\pi/T_k$, a T_k je vreme jednog titraja temelja mašine pri slobodnom osciliranju. Vrednost w i T_k treba odrediti na osnovu specijalne literature. Iz jednačine za u vidi se da je najopasniji slučaj kad je $m = w$ odnosno $T_m = T_k$ (puna rezonancija), što treba izbeći promenom konstrukcije ili promenom stroja. (Napomena: zbog prigušivanja faktori su stvarno nešto manji nego po gornjoj jednačini, ali se ona radi sigurnosti ipak upotrebljava u navedenom obliku.)

Na kraju izlaganja o konstruktivnim karakteristikama betonskih konstrukcija treba još dodati glavne karakteristike u pogledu deformisanja konstrukcija. Pri tom treba naročito uzeti u obzir da deformacije betonskih konstrukcija ne nastaju samo usled uticaja opterećenja već i usled temperaturnih razlika, usled skupljanja ili bubrenja betona i usled njegovoga stinjanja (puzanja).

Deformacije usled opterećenja posledica su uticaja aksijalnih sila (P , pozitivan u slučaju pritiska), uticaja momenta savijanja (M) i uticaja momenta torzije (U). (Poprečne sile se obično zanemaruju.) Ravnomerno skraćenje za jedinicu dužine d , radijus krivine r , kut uvijanja za jedinicu dužine z dati su jednačinama

$$d = P/E F, \quad 1/r = M/E J, \quad z = U/G Y, \quad (13 \text{ a b c})$$

gde je F površina preseka konstrukcije, J moment inercije pri savijanju, a Y moment inercije pri torziji. Ukoliko je pritisnut samo deo preseka pa se računa sa isključenjem napona zatezanja, po pravilu bi trebalo uzeti u račun za F , J i Y samo pritisnuti deo preseka. [Za pravokutni presek prema sl. 5 važi

$$F = b h, \quad J = b h^3/12, \\ Y = (v^3/3) \cdot \left(1 - 0,63 \cdot \frac{\xi}{v} + 0,052 \cdot \frac{\xi^2}{v^2} + \dots\right),$$

$v =$ veća, $\xi =$ manja stranica.] Vrednost E (modul elastičnosti) znatno varira s obzirom na kvalitet, starost i napon betona; u proseku se za kratkotrajna opterećenja može uzeti vrednost po našim propisima

$$E = \frac{550\,000}{150 + \frac{\beta_p}{\beta_p}} \cdot \beta_p; \quad \beta_p = 0,75 \cdot \beta_p, \quad (14 \text{ a b})$$

gde je β_p čvrstoća betona na pritisak u prizmi, a β_p marka betona (čvrstoća kocke). (Modul elastičnosti pri zatezanju je manji, u proseku čak samo do 0,4 vrednosti modula elastičnosti za pritisak.) Vrednost G je modul za smicanje; on iznosi teorijski

$$G = E/2(1 + \mu), \quad (15)$$

gde je E modul elastičnosti po jedn. (14), a μ Poissonov koeficijent (za napone do 1/3 čvrstoće $\mu = 1/6$, za veće napone μ naraste do 0,5).

Na osnovu navedenih podataka deformacije se mogu računati po običnim principima statike. Teškoće se javljaju samo pri računu statički neodređenih sistema, ako preseći nisu po celoj površini pritisnuti. Tada se moment inercije J menja sa promenom naprezanja, a isto tako i naprezanje s promenom momenta inercije, te se u tom slučaju do konačnih rezultata dolazi iteracijom.

Deformacije usled temperature računaju se na osnovu propisanih temperaturnih razlika. Ako se sa Δt označi sniženje temperature, deformacija u vidu skraćenja iznosi na jedinicu dužine:

$$d = \Delta t/T, \quad (16)$$

gde je T temperaturni modul, koji ima za beton vrednost $\sim 100\,000$ °C. Pri porastu temperature uzima se u obzir negativna vrednost Δt . Deformacije usled temperature praktično nisu velike, ali u statički neodređenim sistemima mogu biti razlog za dodatne napone. Kad pada temperatura, u statički neodređenim konstrukcijama pojavljuju se često znatni naponi zatezanja koji su vrlo nepovoljni sa gledišta sigurnosti konstrukcije. Prilikom gradnje velikih blokova, npr. dolinskih brana, razvija se u toku vezivanja betona znatna toplota, što pri ohlađivanju konstrukcije izaziva neugodne napone. Da bi se to izbeglo, konstrukcija se hladi za vreme vezivanja, a upotrebljavaju se i cementi sa malim razvijanjem toplote.

Deformacije zbog skupljanja (i bubrenja). Skupljanje ima isti efekt kao pad temperature, pa se tako i tretira u propisima. U propisima navedene vrednosti (ekvivalentni pad temperature za 15...20°) treba smatrati kao prosečne: za beton u vodi skupljanje je praktično nula, a pri skupljanju na suhom vazduhu ekvivalentni pad temperature iznosio bi i do 40°. Da bi se što više otklonili štetni uticaji skupljanja, upotrebljavaju se, između ostalog, i cementi sa malom merom skupljanja. Postoje čak i cementi koji izazivaju bubrenje betona. Takvi ekspanzivni cementi upotrebljavaju se za neke vrste prednapregnutih konstrukcija, za izdizanje lukova iznad skele mesto hidrauličkih presa i slično.

Deformacije usled stinjanja (puzanja) betona predstavljaju višak deformisanja preko vrednosti izračunatih prema jedn. (13), koje se javljaju samo u toku opterećenja i neposredno posle njega. Kasnije pri istom opterećenju deformacija raste još dalje (do ~ 3 godine), verovatno zbog vrlo sporog uravnoteženja unutrašnjih pornih pritisaka. Dodatna deformacija je f puta veća od početne, tako da za račun konačnih deformacija treba početne deformacije pomnožiti faktorom $f_{tot} = 1 + f$. Vrednost f iznosi za konstrukcije u vodi $f \approx 1$, u vlažnom ambijentu je $f \approx 2$, a za konstrukcije u suhom vazduhu uzima se da je maksimalno $f \approx 5$. U slučaju uticaja dugotrajnih opterećenja (vlastite težine, skupljanja, pomeranja oslonaca i dr.) postupa se i tako da se uzme u obzir modul elastičnosti, približno prema jednačini (14), ali podeljen sa f_{tot} . U tom slučaju se neki sekundarni uticaji mogu smatrati manje važnima (npr. skupljanje betona i pomeranje oslonaca). Tačnije vrednosti za f_{tot} mogu se dobiti samo na osnovu preciznih studija, zavisno od sastava betona, starosti betona u početku dejstva stalnog tereta i drugih faktora.

Vrste betonskih konstrukcija. Iz dosad navedenog vidi se da su mogućnosti primene betonskih konstrukcija vrlo široke. Prema obliku mogu se betonske konstrukcije podeliti u linijske, površinske i prostorne.

Najobičnije betonske konstrukcije su *linijske*, tj. one kojima su dimenzije preseka male s obzirom na dužinu konstrukcije. Linijske konstrukcije od betona predstavljaju naročito stupovi i lukovi, jer se u tim elementima pretežno javljaju samo naponi pritiska koje beton dobro podnosi. Konstrukcije u obliku nosača ređe dolaze u obzir; npr. temeljni nosači, gde su momenti savijanja a time i naponi zatezanja relativno mali, pogotovu ako su stupovi koje nosi temelj postavljeni blisko jedan drugom ili ako na nosaču stoji betonski zid ili zid od opeke.

Površinske betonske konstrukcije imaju malu debljinu u odnosu prema površini. Normalne vrste tih konstrukcija predstavljaju zidovi, svodovi i kupole, koji su uglavnom napregnuti pritiskom, što odgovara primenljivosti betona. Eventualno može doći u obzir i ploča, ali samo u slučaju kada su naponi zatezanja maleni, tj. u slučaju prilično malih momenata savijanja. To se obično dešava u pločama koje više služe za pokrivanje (pokrovni beton) nego za nošenje. Račun površinskih konstrukcija analogan je računu linijskih konstrukcija, s time da se određuje naprezanje npr. za 1 dužinski centimetar preseka te se takav deo konstrukcije dalje računa analogno kao linijska konstrukcija pravokutnog preseka sa širinom $b = 1,0$ cm. Na taj se način kontrolišu onoliko delova pojedinog preseka koliko je potrebno da se može steći uverenje o sigurnosti celog preseka.

Najkomplikovanija vrsta betonske konstrukcije je *prostorna konstrukcija*, sa dimenzijama približno iste veličine u svim pravcima. Zbog teškoća u statičkom računu ove se konstrukcije često računaju aproksimativno, kao površinske ili čak kao linijske, s time da se raseku u pojedine noseće lamele. Lamela se smatra površinskom konstrukcijom, npr. zid, ili linijskom konstrukcijom, npr. stup. U obzir dolaze opet konstrukcije u kojima se javljaju naponi pritiska, npr. temeljni blokovi raznih dimenzija: manji blokovi ispod stupova, mašinski i slični veći temelji, pa veliki blokovi u vidu vodojaža i dolinskih brana. Ukoliko se statički račun ipak izvodi za prostornu konstrukciju kao takvu, mora se izračunati napon za pojedina mesta nekog preseka. Na taj se način utvrđuju naponi na tolikim mestima tog preseka koliko se pokaže potrebno da bi se mogla smatrati dokazanom sigurnost na celoj površini preseka.

Sa gledišta *upotrebe* za razne svrhe mogu se betonske konstrukcije razvrstati na konstrukcije koje se primenjuju u zgradarstvu

(stambene, industrijske, poljoprivredne i druge zgrade), u saobraćaju (ceste, mostovi itd.) i u hidrotehnici. Neke specijalne konstrukcije pripadaju i ostalim tehničkim granama, rudarstvu, metalurgiji, mašinstvu itd. Konačno, neke betonske konstrukcije treba smatrati pomoćnima ili privremenima, npr. za gradnju skela. Druge vidove neojačanih betonskih konstrukcija često predstavljaju stupovi i zidovi. Neojačani stupovi grade se za manje visine, tj. za manje vitkosti; stupovi većih vitkosti, pri kojima postoji opasnost od izvijanja, moraju se armirati. Za zidove upotreba običnog betona nije poželjna iz termičkih razloga, ali se upotrebom lakog (poroznog) betona za gradnju zidova dobija u toplotnom pogledu vrlo dobar materijal, koji se sve više upotrebljava. Ipak se u nekim krajevima obični beton upotrebljava i za zide. Za međuspratne konstrukcije, za stepeništa i za krovne konstrukcije neojačani beton je manje podesan zbog momenata savijanja koji se javljaju u takvim konstrukcijama. Za te konstrukcije, ako su većih dimenzija, podesan je neojačani beton primenjen u vidu svodova i kupola. Kako su dopušteni naponi za beton sa malom armaturom znatno veći nego za potpuno nearmirani beton, za ove se konstrukcije najviše upotrebljava armirani beton, mada se u njima uglavnom javljaju samo naponi pritiska.

U *zgradarstvu* najuobičajeniju neojačanu betonsku konstrukciju predstavlja temelj. Na dobrom tlu obično se prave temelji u vidu blokova, inače trakasti temelji i temeljne ploče. Poslednje dve vrste temelja imaju često i manju ili veću armaturu, zbog momenta savijanja. Druge vidove neojačanih betonskih konstrukcija često predstavljaju stupovi i zidovi. Neojačani stupovi grade se za manje visine, tj. za manje vitkosti; stupovi većih vitkosti, pri kojima postoji opasnost od izvijanja, moraju se armirati. Za zidove upotreba običnog betona nije poželjna iz termičkih razloga, ali se upotrebom lakog (poroznog) betona za gradnju zidova dobija u toplotnom pogledu vrlo dobar materijal, koji se sve više upotrebljava. Ipak se u nekim krajevima obični beton upotrebljava i za zide. Za međuspratne konstrukcije, za stepeništa i za krovne konstrukcije neojačani beton je manje podesan zbog momenata savijanja koji se javljaju u takvim konstrukcijama. Za te konstrukcije, ako su većih dimenzija, podesan je neojačani beton primenjen u vidu svodova i kupola. Kako su dopušteni naponi za beton sa malom armaturom znatno veći nego za potpuno nearmirani beton, za ove se konstrukcije najviše upotrebljava armirani beton, mada se u njima uglavnom javljaju samo naponi pritiska.

U *saobraćajnim konstrukcijama* beton se upotrebljava u obliku kolovoznih ploča za ceste i kao podloga asfaltu ili drugim vrstama gornjeg stroja ceste. Kolovozne ploče za teži saobraćaj eventualno se unekoliko armiraju. Isto važi i za avionske staze na aerodromima, koje se takođe često grade od betona sa manjom armaturom.

Od betona se izrađuju i mnogi pomoćni saobraćajni objekti, kao potporni i obložni zidovi, krila mostova i slično. Beton je i normalni građevinski materijal za noseću ili nenoseću oblogu tunela, na putevima i električnim železnicama. Kad je železnica na parni pogon, donji deo obloge tunela je obično od betona, a teme svoda se izrađuje i od prirodnog kamena, da bi se izbegao štetni uticaj dima lokomotive na beton. Mostovima su obično bar temelji i temeljni zidovi od neojačanog betona. Za ostale pritisnute delove se radi štednje materijalom i radi smanjenja težine obično upotrebljava armirani beton.

U manjim razmerama često se zasvedeni propusti, podvožnjaci i nadvožnjaci grade od neojačanog betona. Postoji priličan broj i većih lučnih mostova i vijadukata od neojačanog betona, mada se za takve konstrukcije obično upotrebljava bar toliko armature da bi se mogli iskoristiti dopušteni naponi za armirani beton, koji su znatno veći od dopuštenih napona za neojačani beton. (Takav malo armirani beton, sa armaturom oko 0,3% preseka betona, označava se kao *slabo armirani* ili *minimalno armirani beton*.) Konačno, od neojačanog betona se grade takođe lučki obalski zidovi, lukobrani, suhi dokovi i slični objekti za pomorski i rečni saobraćaj.

U *hidrotehnici* se beton upotrebljava u najvećim količinama za gradnju dolinskih brana, za koje bi armirani beton — zbog velikih količina čelera — bio preskup. Osim toga, neojačani beton se upotrebljava u izradi manjih vodojaža, za konstrukcije rečnih pragova i slične potrebe. — U energetske hidrotehnici se neojačani beton upotrebljava još za obloge otvorenih kanala, za obloge rovova i tunela, takođe za zidove podzemnih centrala. I za temelje i stupove akvedukata neojačani beton je uobičajeni materijal. Skoro svi objekti u energetske hidrotehnici su od nearmiranog ili samo malo armiranog betona. Armirani beton se upotrebljava samo onde gde je to preko potrebno. U regulacionoj hidrotehnici upotrebljava se beton u vidu obloga ili blokova za osiguranje obala reka, za osiguranje podzemnih, otvorenih i nadzemnih (akveduktih) tokova. Regulacione brane i drugi slični objekti obično su od neojačanog betona. U sanitarnoj hidrotehnici treba navesti betonske podzemne rezervoare (nadzemni su obično od armiranog ili prednapregnutog betona, osim, eventualno, temelja), basene za čišćenje otpadnih voda i dr. Često se i kanalske cevi, kontrolni otvori za kanale i slični pomoćni objekti prave od neojačanog betona. Od objekata za fundiranje treba navesti betonske kesone, bunare i dr.

U *ostalim granama tehnike* treba spomenuti dimnjake i njihove temelje, temelje mašina i žičara, temelje za dalekovode i antene, obloge rovova u rudarstvu, zaštitne zidove reaktorskih postrojenja nuklearne tehnike i drugo, za što se upotrebljava neojačani ili samo malo armirani beton.

Od mnogih *pomoćnih i privremenih konstrukcija* treba navesti betonske temelje skela, građevinskih žičara i sličnih konstrukcija, zatim pomoćne objekte pri regulacionim radovima na rekama. U te se svrhe primenjuje beton kako zbog niske cene tako i zbog mogućnosti lakog rušenja posle upotrebe, osobito kad je upotrebljen beton niskih marki.

U *vojnom sektoru* beton služi za izgradnju utvrđenja. Ako se upotrebi aluminatni cement, beton može postići zadovoljavajuću čvrstoću u toku jedne noći, čime je omogućen gradjenje utvrđenja pod zaštitom mraka. (Tako je prvi put primenjen boksitni cement u Francuskoj u Prvom svetskom ratu.) Betonske konstrukcije se izvode i pri gradnji uređaja protivavionske zaštite, npr. za gradska protuavionska skloništa.

Betonske konstrukcije mogu se razvrstati i s obzirom na *način ugrađivanja betona*. Najpoznatiji je način ugrađivanja da se beton *ručno nabija* u oplati ili u iskopanoj temeljnoj jami. Mnogo bolji način je *mašinsko nabijanje* ili potresanje vibratorima ili pervibratorima. Na taj se način može ugrađivati beton i sa manjim dodatkom vode, pa je zato čvršći. Treći način ugrađivanja predstavlja tzv. *liveni beton*, koji sadrži toliko vode da se može transportirati do mesta ugrađivanja cevima i žlebovima. Zbog velikog dodatka vode potrebno je, da bi se postigla odgovarajuća čvrstoća, dodavati veću količinu cementa, što nije ekonomično. Ipak, naročito u slučaju gustog sklopa armature, primena livenog betona ima svoje tehničko i ekonomsko opravdanje. Pored monolitnog gradjenja betonom postoje i postupci za izradu zidnih i montažnih elemenata, od kojih se posle toga gradi slično kao od prirodnog kamena ili opeke. To je prelazni način gradjenja između betonskih i kamenih konstrukcija. Sa druge strane, *slabo armirani beton*, kojim se iskorišćuju veći dopušteni naponi — tj. oni koji važe za armirani beton — može se smatrati prelaznim rešenjem između nearmiranog i armiranog betona. Tako ni neojačane betonske konstrukcije nisu bez veze s ostalim konstrukcijama, nego čine prelaz od kamenih konstrukcija ka armiranobetonskim.

LIT.: Teorija i praksa neojačanih betonskih konstrukcija obuhvaćena je većinom u literaturi koja obrađuje armirani beton, kao specijalni slučaj armiranog betona s armaturom nula. Za tu literaturu v. *Armiranobetonske konstrukcije*. Nadalje: O. Verner, *Osnovi armiranog betona*, Zagreb 1948. — S. Peruzzi, *Armirani beton*, Ljubljana 1956. — Privremeni tehnički propisi za gradjenje u seizmičkim područjima, Sl. list br. 39, 1964. V. takođe *Beton*. Za literaturu o konkretnim neojačanim betonskim konstrukcijama v. *Brane, Ceste, Fundiranje, Dimnjaci tvornički, Građevinske konstrukcije, Kanalizacija, Kupole, Propusti, Rečne građevine, Rezervoari, Stubovi, Svodovi, Tuneli, Zidovi*.

S. Turk

BICIKL (velosiped, dvokolica), cestovno vozilo sa dva kotača, pogonjeno snagom mišića osobe koja se na njemu vozi. Vozilo slično konstruirano i na isti način pogonjeno, ali sa tri kotača, zove se *trikl* (trokolica).

Prenosivo vozilo na kojem čovjek može vlastitom snagom prevoziti sama sebe tehničko je postignuće razmjerno nedavne prošlosti. S obzirom na to da takvo vozilo mora biti vrlo lagano, ono se počelo ostvarivati tek kad je čovjek spoznao da se može voziti i održavati ravnotežu na vozilu sa dva kotača. God. 1790 Francuz



Sl. 1. Célérier (1790)



Sl. 2. Patentni crtež dvokolice K. Draisa (1817)

de Sivrac konstruirao je vozilo zvano «célérier», drvenu dvokolicu u obliku konja, lava i sl. pokretanu otiskivanjem nogu vozača o tlo (sl. 1). Prednji se kotač te dvokolice nije mogao zakretati radi promjene smjera vožnje, već ju je vozač morao zabacivati u novi smjer. Tek četvrt stoljeća kasnije Nijemac Karl von Drais izumio je svoju dvokolicu (patentirana 1817), zvanu «draisina» (sl. 2) pokretanu kao i celérier, ali sa zakretljivim prednjim kotačem. G. 1840 Englez