



BETON,  
građevinski radovi na  
izgradnji podzemne garaže  
na Poljani, Šibenik, 2019.  
foto: N. Stipaničev / CROPIX

**beton**, građevni materijal koji se dobiva stvrdnjavanjem smjese nekog veziva (npr. cementa), vode i agregata (npr. šljunka i pijeska), a kadšto i od kemijskih ili mineralnih dodataka. U svježem stanju može se lako oblikovati, lijevanjem u kalupe ili oplatu, i taj oblik trajno zadržava nakon stvrdnjavanja. Povoljna konstrukcijska i druga svojstva učinila su beton najzastupljenijim građevnim materijalom današnjice. U znanstvenom i stručnom smislu posebice su važna područja građevinarstva koja su usko vezana uz beton: tehnologija betona, ispitivanje betona (→ građevni materijali), → betonske konstrukcije i dr. U sklopu teorije i tehnologije betona obrađuju se sastav betona, svojstva betona u svježem i očvrslom stanju, projektiranje sastava betona, proizvodnja i ugradnja betona i dr.

#### Tehnologija betona

Agregat čini 60–80% volumena betona te se dijeli u frakcije kako bi se postiglo optimalno pakiranje zrna s najmanje šupljina. Frakcija agregata je skup zrna određene veličine, npr. 0–4 mm, 4–8 mm, 8–16 mm, 16–32 mm itd. Prije izradbe betona, određuje se granulometrijski sastav agregata, odnosno raspodjela frakcija u ukupnom sastavu agregata. Za izradbu betona rabe se prirodni agregati (riječni pijesak i šljunak ili drobljeni kamen), umjetni agregati, sekundarne sirovine iz drugih industrija (npr. zgura) te reciklirani materijali (npr. reciklirani beton, opeka, guma i dr.). Neka su od važnijih svojstava agregata za primjenu u betonu oblik zrna,

sadržaj sitnih čestica, čvrstoća, modul elastičnosti, otpornost na zamrzavanje i odmrzavanje i otpornost na abraziju. (→ kamen; sv. 2) (→ pijesak i šljunak; sv. 2)

Za izradbu betona danas se najčešće kao vezivo rabi portlandski cement koji se sastoji od klinkera, mineralnih dodataka i sporednog sastojka (gips). U kontaktu s vodom cement počinje tvoriti produkte hidratacije te tijekom vremena dolazi do postupnog vezivanja i očvršćivanja. Najzastupljeniji je produkt hidratacije kalcij-silikat-hidrat (C-S-H) gel koji je tipično amorfne strukture, potom kalcijev hidroksid te nešto manje zastupljen etringit. Kalcijev hidroksid pojavljuje se u obliku heksagonalnih kristala i, premda je u očvrsluloj cementnoj matrici manje zastupljen od C-S-H gela, pridonosi visokoj pH vrijednosti betona i tako pruža pasivnu zaštitu čelične armature od korozije. Kalcijev hidroksid također sudjeluje u pucolanskoj reakciji s nekim mineralnim dodatcima poput silicijske prašine ili letećega pepela. Pucolanskom se reakcijom struktura betona popunjava novom količinom C-S-H gela, što pridonosi čvrstoći i svojstvima trajnosti betona. (→ cement)

Danas se u proizvodnji betona, radi poboljšavanja njegovih svojstava u svježem ili očvrslom stanju, često rabe kemijski dodatci, najčešće aeranti koji se primjenjuju radi poboljšanja otpornosti na smrzavanje betona, superplastifikatori kojima se poboljšava obradivost betona te ubrzivači ili usporivači

vezivanja, odnosno očvršćivanja. U industriji betona primjenjuju se i različiti mineralni dodatci poput letećega pepela koji nastaje u termoelektranama na ugljen, silicijske prašine iz proizvodnje silicijskih i ferossilicijskih legura te zgure iz proizvodnje čelika. Variranjem vrste i količine cementa, agregata i dodatka dobivaju se različite vrste betona.

Obični betoni imaju gustoću 2000–2600 kg/m<sup>3</sup>, tlačnu čvrstoću 10–60 N/mm<sup>2</sup>, a vlačna im je čvrstoća oko 10% tlačne. Primjenom laganih agregata kao što su glinopor, ekspanzirani polistiren, perlit, vermikulit i plovuac dobivaju se lagani betoni gustoće do 2000 kg/m<sup>3</sup>. Lagani se betoni mogu dobiti i primjenom sredstava za proizvodnju plina ili pjene s pomoću kojih se dobiva porasta struktura (plinobetoni i pjenobetoni). Elementi od laganog betona imaju manju vlastitu težinu i poboljšana toplinska svojstva te se mogu rabiti kao izolacijski betoni, betoni za ispunu te, ovisno o čvrstoći, kao konstrukcijski betoni. Teški betoni imaju gustoću veću od 2600 kg/m<sup>3</sup> te se dobivaju djelomičnom zamjenom običnog agregata teškim agregatima kao što su barit, magnetit, čelične strugotine i olovne kuglice. Teški betoni primjenjuju se za zaštitu od radioaktivnog zračenja u industrijskoj radiografiji, bolnicama i nuklearnim elektranama, a nalaze svoju primjenu i kao protuteži na mostovima, blokovi za gradnju lukobrana, temelji platformi u moru i sl.

Beton u svježem stanju mora omogućiti jednostavno miješanje i prijevoz, ugradnju, zbijanje i završnu obradbu bez pojave segregacije i izdvajanja vode. Segregacija je pojava odvajanja sastojaka svježe betonske mješavine pa njihova distribucija više nije jednolika, a njezini su glavni uzroci povećanje maksimalnog zrna agregata iznad 25 mm, veća količina krupne frakcije u odnosu na pijesak, smanjenje udjela cementa, povećanje udjela zrna nepovoljnog oblika i promjena u količini vode (presuha ili prevlažna mješavina).

Obradivost betona je mogućnost miješanja, rukovanja, prijevoza i ugradnje betona s najmanjim gubitkom homogenosti mješavine, a obično se izražava s pomoću konzistencije. Konzistencija je mjera obradivosti betona koja predstavlja svojstvo materijala kojim se on odupire trajnoj promjeni oblika. U praksi se obično mjere svojstva svježeg betona: konzistencija, gustoća, temperatura i sadržaj pora. Metode ispitivanja konzistencije betona su slijeganje (engl. *slump test*), Vebe postupak, rasprostiranje (engl. *flow test*) i stupanj zbijenosti.

Temperatura okoliša znatno utječe na temperaturu betona. Povišenjem temperature betona smanjuje se obradivost, jer se zbog veće temperature povećavaju brzina evaporacije i brzina hidratacije. To znači da će u vrućim klimatskim uvjetima biti potrebna veća količina vode za održavanje iste obradivosti.

Vezivanje je prijelaz iz tekućega stanja betona u kruto te prethodi očvršćivanju, a oba se procesa događaju postupno i kontrolirani su procesom hidratacije. Početkom vezivanja smatra se stanje kada se betonom više ne može prikladno rukovati, niti ugrađivati ga, a krajem vezivanja približno vrijeme kada počinje očvršćivanje.

Osnovno je svojstvo betona tlačna čvrstoća. Razred tlačne čvrstoće  $C_{f_{ek,cyl}}/f_{ek,cube}$  označava karakterističnu tlačnu čvrstoću betona u N/mm<sup>2</sup> u starosti 28 dana, dobivenu na valjcima visine 30 cm i promjera 15 cm, odn. kockama brida 15 cm, ispitanimi pri jednoosnom tlaku. Običnim betonima smatraju se razredi do uključivo C50/60, a betonima velikih čvrstoća razredi od C55/67 do uključivo C100/115.

Trajnost betona podrazumijeva njegovu otpornost na razne kemijske, fizikalne, mehaničke i biološke procese razaranja iz okoliša. Trajnost armiranobetonskih elemenata određena je transportom tvari u sustavu pora betona i njihovim djelovanjem na hidratiziranu cementnu pastu, agregat ili čeličnu armaturu. Agresivne tvari mogu skratiti životni vijek konstrukcije svojim izravnim djelovanjem ili posredno, utječući na druge reakcije koje vode oštećenju. Većina procesa degradacije betona ovisi o brzini kojom vlaga, zrak i druge agresivne tvari prodiru u njegovu strukturu. Pri razmatranju trajnosti betona najvažniji su propusnost i različiti mehanizmi prolaska tvari u betonu – tečenje pod tlakom, difuzija i apsorpcija. Uzroci oštećenja betona mogu se pripisati kemijskim djelovanjima koja posredno dovode do gubitka fizičke cjelovitosti, što uključuje djelovanje sulfata, morske vode, kiselina i alkalno-silikatne reakcije, te mehanizmima koji izravno utječu na fizička djelovanja, kao što su zamrzavanje i požar.

Djelovanje zamrzavanja jedan je od najčešćih uzroka oštećenja betona u hladnim klimatskim područjima. U krupnim kapilarama se voda počinje zamrzavati na 0°C te pri prelasku vode u led dolazi do povećanja volumena za približno 9%. Istodobno s povećanjem volumena pri prelasku vode u led dolazi do skupljanja okolnog čvrstog materijala (cementnog kamena i agregata), ovisno o njegovu toplinskom koeficijentu. Ako unutar betona nema dovoljno prostora za njegovo širenje, to rezultira pojavom razornog unutarnjeg tlaka. Svaki sljedeći ciklus zamrzavanja i odmrzavanja još ubrzava oštećenje betona koje se manifestira u obliku pukotina, ljuštenja površine te odlamanja.

U morskoj je vodi beton istodobno izložen mnogobrojnim degradacijskim procesima, uključujući kemijsko djelovanje morskih soli, sušenje i vlaženje u području zapljuskivanja, abraziju od djelovanja valova i materijala nošenog valovima, a u nekim klimatskim područjima i djelovanje zamrzavanja i odmrzavanja.

BETON, most preko Gradne Josipa Dubskog iz 1906. u Ulici svete Ane, Samobor (lijevo)

Projektirani nacrt Frana Funtaka za vodotoranj u Vukovaru, 1911., Zbirka planova, Gradski muzej Vukovar (desno)



Postupak projektiranja sastava betona sastoji se od dvaju koraka: odabir komponenti sastava betona (cement, agregat, voda i dodatci) i određivanje njihova relativnog omjera kako bi se proizveo beton zahtijevane obradivosti, čvrstoće i trajnosti na što ekonomičniji način. Prema mjestu proizvodnje, odnosno proizvodnom pogonu, beton može biti izrađen u tvornici betona, u betonari na gradilištu za potrebe tog gradilišta i u betonari pogona za proizvodnju predgotovljenih betonskih elemenata. Vanjski transport betona obavlja se uglavnom automiješalicama različitih vrsta i kapaciteta. Svježi beton tijekom prijevoza treba miješati okretanjem bubnja dva do šest puta u minuti kako bi se zadržala svojstva svježeg betona pri isporuci. Za unutarnji (gradilišni) prijevoz rabe se građevinska kolica, japaneri i dumperi, vagoni, prijenosne posude (tzv. kible) raznih kapaciteta koje se prenose dizalicama ili kranovima, trakasti transporter i pumpe za beton. Nakon prijenosa do mjesta ugradnje betonom se ispunjava oplata, odnosno pri betoniranju horizontalnih elemenata (npr. ploče na zgradama ili prometne površine) beton se razastire. Ugradnja betona, tj. zapunjavanje oplata betonom, zbijanje betona u oplati i završna obradba gornje površine, mora biti završena prije nego što započne proces vezivanja betona. Pritom sva armatura i ugrađeni predmeti moraju biti dobro obuhvaćeni betonom kako bi se postigla predviđena čvrstoća i trajnost. Postupak zbijanja sastoji se od eliminacije zahvaćenog zraka u betonskoj mješavini tako da čestice betona dođu u što gušću konfiguraciju, a najčešće se provodi vibriranjem uz pomoć pervibratora, oplatnih vibratora, vibrostolova i dr. Nakon ugradnje slijedi njega betona, kojom se osiguravaju povoljni termohigrometrijski uvjeti za normalno odvijanje hidratacije cementa, zaštitu od vjetrova, oborina, insolacije, agresivnih tvari, visokih i niskih temperatura, velikog unutarnjeg toplinskog gradijenta be-

tonskog elementa te vibracija koje mogu poremetiti unutarnju strukturu betona i prijanjanje između betona i armature. U uobičajenim se uvjetima okoliša pod njegovom podrazumijeva održavanje vlažnosti betona. Površinska temperatura betona ne smije pasti ispod 0°C dok beton ne dostigne tlačnu čvrstoću od najmanje 5 N/mm<sup>2</sup>.

Posebni betoni su betoni s posebnim zahtjevima i svojstvima koji se ne mogu postići uobičajenim komponentama sastava betona ili uobičajenom ugradnjom i njegovom. Neke od posebnih vrsta su lagani i teški beton, mlazni beton (nanosi se prskanjem), porozni beton (smanjuje nakupljanje oborinskih voda na uređenim površinama), geopolimerni beton (umjesto portlandskog cementa rabe se ekološki prihvatljivi alkalno aktivirani materijali), masivni beton (pri betoniranju masivnih konstrukcija), samozbijajući beton (bez potrebe uređaja za zbijanje pri ugradnji), mikroarmirani beton (s dodatkom čeličnih, polimernih, staklenih, prirodnih i drugih vlakana), uvaljani beton (razmjerno suh beton s malim udjelom veziva koji se ugrađuje opremom za izvedbu zemljanih nasipa), prepakt beton (oplata se prvo ispunjava agregatom krupnog zrna, a potom cementnom mješavinom), beton ultravelike čvrstoće, arhitektonski i dekorativni beton, beton koji se sam čisti, beton sa samobrtvljenjem, prozirni beton, beton s konopljom, i dr.

#### Povijest betona

Beton je bio poznat već u antici. Rimski arhitekt Vitruvije spominje ga u djelu *O arhitekturi* (nakon 27. pr. Kr.). Isprva su Rimljani kao vezivo rabili samo gašeno vapno, dok mu nisu počeli dodavati mljevenu opeku, koju su poslije zamijenili vulkanskim pepelom (pucolan) iz okolice Pozzuolija kraj Napulja i tako dobili kvalitetno i trajno hidraulično vezivo, koje može očvršćivati i u vodi. Taj je

pronalazak sačuvao mnoge njihove građevine sve do našega doba, ali je nakon propasti Rimskog Carstva pao u zaborav, pa se u srednjem vijeku kao vezivo opet rabilo samo gašeno vapno. Međutim, 1756. je John Smeaton pri izgradnji svjetionika uočio da materijal napravljen od vapna dobiva svojstvo postojanosti u vodi ako mu se dodaju glinoviti materijali. Godine 1824. Joseph Aspdin patentirao je materijal koji je u očvrslom stanju bojom odgovarao vrlo dobrom građevnom kamenu iz okolića Portlanda, a nazvao ga je portlandski cement. Joseph Aspdin je prvi proizveo cement istodobnim pečenjem vapnenca i gline. Procesom pečenja mijenjaju se kemijska svojstva materijala i na taj je način Aspdin proizveo materijal puno boljih mehaničkih svojstava od onih koji su se rabili do tada. Beton sastava najbližijega današnjemu iskoristio je 1848. Joseph-Louis Lambot za izgradnju čamca i pritom prvi uporabio armaturu u betonu. Ipak, ocem armiranoga betona smatra se Joseph Moniere, koji je od betona izrađivao posude za biljke i cvijeće te ih dodatno ojačavao čeličnom žičanom mrežom; svoj je izum izložio na izložbi u Parizu 1867. Monier se smatra i utemeljiteljem primjene armiranoga betona na željezničkim čvorovima, za izradbu cijevi, podova, lučnih konstrukcija i mostova. Prva norma za cement donesena je 1900., što je pridonijelo većoj uporabi betona koji se počeo primjenjivati i u mostogradnji. Konačno, u XX. st. beton je postao daleko najraširenijim materijalom u graditeljstvu, omogućujući veliku raznolikost konstrukcijskih rješenja i oblikovanja. Procjenjuje se da je 2020. u svijetu proizvedeno oko 14 milijardi m<sup>3</sup> betona.

## Beton u Hrvatskoj

### Razvoj primjene

Među prvim primjenama čelika i betona u nas zabilježene su one u Luci Rijeka, gdje je 1881. izgrađeno skladište 4 na doku Zichy prema projektu arhitekta Mate Glavana. Primijenjena je tehnologija koju je patentirao William Fairbairn 1844., pri kojoj se stropovi izvode kao nizovi plitkih svodova betoniranih na limenoj izgubljenj oplatni koja počiva na I nosačima. Poslije je ista stropna konstrukcija primijenjena i za skladišta 5, 6 i 7, a uvode se i druge tehnologije zasnovane na naprednim novim patentima. Tako se 1893. pri izgradnji skladišta 9 i 10 te 12 rabio Monierov patent armiranobetonskih greda i stropova pa se to smatra prvom primjenom armiranoga betona u Hrvatskoj.

Prvim se armiranobetonskim mostom u Habsburškoj Monarhiji općenito smatra onaj preko Schwechata u Badenu kraj Beča koji je od 1. IX. 1900. do 1. I. 1901. gradilo bečko poduzeće Eduard Ast & Comp. prema projektu Françoisa Hennebiquea. Međutim, manje je poznato da je prije nje ga isto poduzeće po istom sustavu dovršilo jedan most u Hrvatskoj. Riječ je o mostu Lomost na cesti

Ogulin–Josipdol, otvora oko deset metara, koji je i danas u funkciji te je zasigurno najstariji armiranobetonski most u nas. Bečko ga je poduzeće izgradilo uz pomoć lokalnog stanovništva. Beton za temelje i upornjake pripremao se na mjestu gradnje uporabom portlandskog cementa, pijeska i kamena drobljenca u volumenskom omjeru 1 : 3 : 5, a radnici su ga ručno miješali na drvenoj podlozi. Nakon izgradnje donjeg ustroja izgrađena je drvena skela s daščanom oplatom za izgradnju rasponske konstrukcije. Armiranje je izvedeno prema Hennebiqueovu sustavu uz primjenu šest čeličnih šipki profila 27 mm u donjem pojasu glavnih nosača, te još dvije šipke u gornjem pojasu. Armatura je obuhvaćena sponama na razmacima 22–55 cm. Prvo su betonirani uzdužni i poprečni nosači, a tek naknadno kolnička ploča. Beton se također miješao ručno, na samoj oplati, i to od portlandskog cementa i finog šljunka u omjeru 1 : 7. Zbijao se s pomoću batova te se osobito pazilo da dospije i ispod najdonjih šipki armature u oplati. Potom je postavljena armatura kolničke ploče koja se sastojala od šipki promjera 12 mm koje su položene uzduž i poprijeko na razmaku od 20 cm, čime je formirana armaturna mreža. Ploča je betonirana u jednom danu uz sudjelovanje 30 radnika. Most je dovršen i pušten u promet 25. X. 1900.

Početakom XX. st. širila se primjena armiranoga betona i među domaćim poduzetnicima, osobito u izvedbi mostova, ali i drugih konstrukcija. U to je doba u Hrvatskoj sedam poduzeća izvodilo armiranobetonske mostove Hennebiqueovim, Monierovim i Lutipoldovim sustavima: Josip Banheyer i sin iz Vukovara, Josip Frank i drug iz Osijeka, te Josip Dubský i drug, Alexander Kaiser i sin, Schmidt i Sonnenberg, E. Eisner i A. Ehrlich i Građevno poduzeće braća Carnelutti iz Zagreba.

Jedan od prvih hrvatskih graditelja armiranobetonskih mostova i drugih građevina bio je → Fran Funtak, koji je najprije radio za poduzeće J. Banheyera. Sagradio je više od 60 mostova, npr. na potocima Vrbovači i Stružnom (1903), na rijeci Krapinici u središtu Krapine i na potoku Nevkošu u Vinkovcima (1907), na rijeci Biđ u Prkovicima (1910) i dr. Među prvim graditeljima u armiranome betonu ističe se i → Josip Dubský koji je izgradio ukupno 500 mostova, od kojih su prvi oni na Gradni u Samoboru (1906).

Od ostalih primjera rane primjene betona u nas ističu se npr. betonski stupovi električnih vodova od Hidroelektrane Ozalj prema Karlovcu (1908), silos i krovna konstrukcija paromlina u Zagrebu (1908) J. Dubskog, zvonik kalvinske crkve (1910) i stari vodotoranj (1913) u Vukovaru F. Funtaka. Osobito se važnim ostvarenjem smatra prva armiranobetonska kupola u nas, promjera 18 m, na crkvi sv. Blaža u Zagrebu (1910–13), koju su projektirali arhitekt → Viktor Kovačić i konstruktor → Milan

Čalogović, a izveo ju je J. Dubský. Godine 1915. izgrađen je most preko rijeke Velikog Struga projektanti kojega su bili M. Čalogović i F. Funtak. Most duljine 100 m bio je jedan od najvećih konstrukcijskih pothvata Austro-Ugarske Monarhije i najznačajniji je armiranobetonski most izgrađen u Hrvatskoj prije kraja I. svj. rata.

Tijekom 1930-ih beton se kao konstrukcijski materijal počeo sve više primjenjivati u sve smjelijim konstrukcijama. U Zagrebu je J. Dubský gradio 1928–32. niz hangara za zrakoplove na aerodromu Borongaj. Prema projektu → Milivoja Frkovića izgrađen je 1938. kolni most preko rijeke Save u Zagrebu. Riječ je o prvoj spregnutoj konstrukciji u svijetu (beton i čelik), što je znatno pridonijelo razvoju inženjerske struke. Prema zamisli → Ivana Meštrovića izgrađen je današnji Dom hrvatskih likovnih umjetnika u Zagrebu (1934–38., s H. Biličićem, L. Horvatom, I. Zemljakom, D. Iblerom i dr.), natkriven betonskom kupolom promjera 19 m i debljine 6 cm.

Poslije II. svj. rata beton se naveliko primjenjivao za izvedbu različitih konstrukcija. U razdoblju ubrzane industrijalizacije zemlje gradile su se mnogobrojne hale tvorničkih pogona, nerijetko i sa smionim i inovativnim rješenjima krovova, npr. tvornica Rade Končar (1945–46., konstruktor → Otto Werner) ili Omladinska tvornica Jedinstvo (1948., → Alexander Kaiser) u Zagrebu. Važna su dostignuća u području primjene betona u to doba i ona → Krunoslava Tonkovića, graditelja mnogobrojnih mostova, od kojih su prvi armiranobetonski preko rijeke Korane (1955–58) i Slunčice (1958–60) u Slunju; zapaženi su ostali i moćni upornjaci njegove viseće konstrukcije paviljona 40 Zagrebačkoga velesajma (1957) koju je projektirao prema zamislama arhitekta → Ivana Vitića.

Od 1950-ih u mnogim su se hrvatskim gradovima uporabom armiranoga betona gradile moderne stambene zgrade, škole, vrtići i industrijske građevine te se razvijala polumontažna i → montažna gradnja uporabom predgotovljenih betonskih elemenata. Pioniri takve izgradnje bila su zagrebačka poduzeća Jugobeton i → Jugomont, a slijedila su ih zagrebački → Novogradnja, → Tempo, → Industrogradnja, → Tehnika, splitski → Lavčević, riječki → GP Primorje i dr. Kako bi se zadovoljila golemo potražnja za stanovima, rad u pogonima za proizvodnju predgotovljenih betonskih elemenata često se izvodio u tri smjene pa je proizvodnja predgotovljenih nosača, greda, stupova, stubišnih krakova, fasadnih elemenata i cijelih kupaoničkih blokova trajala bez prekida. Takvom su izgradnjom izgrađeni npr. veliki dijelovi Novog Zagreba (Sopot, Siget, Zapruđe, Dugave, Travno itd.). Dobar je primjer primjene betona u stanogradnji zagrebačka Mamutica (1974., → Đuro Mirković) sa 1169 stambenih jedinica i približno 5000 stanara. Godi-

ne 1969–76. izgrađena je tada najviša zgrada u Zagrebu, armiranobetonski neboder Zagrepčanka (→ Slavko Jelinek).

I u razdobljima što su slijedila ističu se ostvarenja betonskih konstrukcija u mostogradnji, a među njima napose Šibenski, Paški i Krčki most projektanta → Ilije Stojadinovića. Šibenski most ukupne duljine 340 m i raspona 246,4 m građen je 1964–66. i prvi je armiranobetonski luk u svijetu izveden u potpunosti konzolnom gradnjom. Paški most ukupne je duljine 301 m i raspona 201 m, a građen je 1967–68. primjenom predgotovljenih prednapetih betonskih elemenata koji su se u cjelinu spajali betonskom pločom izvedenom na licu mjesta. Krčki most jedna je od najznačajnijih građevina izvedenih od betona u Hrvatskoj u XX. st. U trenutku izgradnje (1976–80) luk mosta kopno–otok Sv. Marko, raspona 390 m i ukupne duljine 430 m, bio je najveći armiranobetonski luk u svijetu. Raspon manjega luka (Sv. Marko–otok Krk) je 244 m. Za izgradnju Krčkoga mosta iskorišteno je 20 500 m<sup>3</sup> betona, 130 t čelika za prednapinjanje i 4000 t armature.

Osim u mostogradnji, beton se primjenjuje i za izvedbu hidrotehničkih građevina pa je tako 1958. pri izgradnji HE Peruća izvedena betonska obloga. Godine 1989. izgrađena je HE Đale te u novije doba HE Lešće (2010). Beton je 1973. uporabljen i za izgradnju radiotelevizijskoga tornja Sljeme, ukupne visine 170 m, od čega je donji armiranobetonski dio visok 92 m (projektant Krešimir Šavor). Iz tog se razdoblja ističe i tunel Učka (1976–80., projektant Ivan Banjad) ukupne duljine 5062 m, širine 9,1 m i visine 4,5 m. I danas naši tuneli spadaju u sam vrh tunelogradnje; zapadna cijev tunela Sv. Rok ukupne duljine 5670 m otvorena je 2003., a istočna duljine 5679 m 2009., zapadna cijev tunela Mala Kapela, najduljega tunela u RH dugoga 5780 m, otvorena je 2005., a istočna 2009; godine 2024. otvorena je druga cijev tunela Učka duljine 5630 m.

Među betonskim konstrukcijama ističu se i silosi, kakve je npr. izgradilo zagrebačko poduzeće Tehnika: u Rijeci (1960–63., kapaciteta 33 000 t), Koprivnici (1963–64., 1969–72., 35 000 t), Đakovu (1966–67., 1977., 1981., 43 500 t), zagrebačkom Resniku (1968–80., 1984., 42 000 t), Našicama (1997–98., 44 000 t) i dr. Važna je i primjena betona pri izgradnji osobito visokih dimnjaka, Termoelektrane Sisak (izgrađen 1970., visok 140 m), Termoelektrane-toplane Sisak (1976., 200 m), Termoelektrane-toplane Rijeka (1978., 250 m), Termoelektrane-toplane Zagreb na Savici (1978., 202 m), Elektrane-toplane Zagreb na Trešnjevci (1980., 200 m), Rafinerije nafte Sisak (1983., 207 m), Petrokemije Kutina (1983., 205 m), Termoelektrane Plomin 2 (2000., 340 m), danas ujedno najviših građevina u nas.

U novije doba izgrađeni su i neki značajni masivni mostovi. Maslenički most na autocesti A1 (1993–97., projektanti Vinko Čandrić, → Zlatko Šavor, → Jure Radić) s armiranobetonskim lukom raspona 200 m izgrađen je od predgotovljenih prednapetih betonskih nosača spajanih betonskom pločom izvedenom na licu mjesta. Taj je most značajan i po tome što je prvi put proračunat životni vijek konstrukcije te su ugrađeni korozijski senzori za praćenje stanja konstrukcije. Most dr. Franja Tuđmana preko Rijeke dubrovačke (2002., Z. Šavor) ukupne je duljine 518,23 m, a Most Krka kraj Skradina (2004., Z. Šavor) sastoji se od armiranobetonskoga luka raspona 204 m i spregnute konstrukcije. Domovinski most preko rijeke Save u Zagrebu (2007., Rajka Veverka i Martina Balić) ukupne je duljine 860 m i širine 34 m.

Primjena betona nastavlja se u gradnji najrazličitijih objekata niskogradnje i visokogradnje, kakvi su npr. Pelješki most ili sportske dvorane (Arena Zagreb, Spaladium Arena u Splitu, Dvorana Gradski vrt u Osijeku, Sportska dvorana Bale, Dvorana Krešimira Ćosića u Zadru itd.).

#### Proizvodnja svježeg betona

Potrebe za svježim betonom koji se do mjesta ugradnje prevozi automiješalicama u Hrvatskoj zadovoljava niz tvornica betona (betonara) uglavnom vezanih uz lokalno distribucijsko područje. Nekoć su najvećim kapacitetima za proizvodnju betona raspolagala velika građevinska poduzeća poput Lavčevića (betonara Sirobuja u Splitu), Tempa (Jarun, Rakitje), Industrogradnje (Donja Lomnica), Tehnike (Velika Gorica) i dr., koja su od početka 1960-ih gradila stacionarne betonare. Danas su vodeći proizvođači betona ujedno i najveći proizvođači cementa.

Poduzeće → Cemex Hrvatska (nekoć Dalmacijacement) iz Kaštel Sućurca proizvodi beton i betonske proizvode. Ima četiri betonare u Hrvatskoj (Zagreb, Varaždin, Zadar, Kaštela) i dvije u BiH, proizvodi betone široke primjene i specijalne betone (pjenobeton, propusni, samozbijajući, vodonepropusni, mikroarmirani, konstruktivni i nekonstruktivni lagani, dekorativni beton). Poduzeće → Nexce (nekoć Našicecement) iz Našica proizvodi betone široke primjene i specijalne betone (lagani nekonstruktivni, obojeni, vidni, samozbijajući, sulfatno otporni beton, beton otporan na habanje, mraz i sol, vodonepropusni beton). Ima betonare u Sesvetama, Stupniku, Sisku, Osijeku, Vinkovcima, Našicama. Poduzeće → Holcim Hrvatska (nekoć Istarske tvornice cementa) iz Koromačnog proizvodi betone široke primjene i specijalne betone (mikroarmirani beton, pjenobeton, betoni za posebne uvjete izloženosti okoline, samozbijajući, propusni, valjani beton). Ima betonare u Kukuljanovu, Karlovcu, Lučkom, Sesvetama (Resnik beton) i Čakovcu (Betaplast).



BETON, uzorci specijalnih betona poduzeća Holcim

#### Proizvodnja betonskih proizvoda

Jedna od prvih radionica za izradbu betonskih proizvoda u Hrvatskoj otvorena je 1885. uz Prvu dalmatinsku tvornicu cementa Gilardi i Bettiza na splitskom Dražancu (poslije II. svj. rata Jadranka Split), a serijski je proizvodila pločice, balustrade te druge dekoracije. Gerhard barun Leppel je zajedno s Aleksanderom Lecom, Franjom Malzatom i Jaroslavom Kralikom 1906. osnovao poduzeće → Samoborka. Prvi proizvodi bile su betonske cijevi, crijevi i blokovi. Poduzeće je i danas jedan od najvećih proizvođača opločnika, cijevi i druge betonske galanterije.

Nakon I. svj. rata Hrvatskom su se širile obrtničke radionice u kojima su se proizvodili gotovi betonski elementi (stupovi, kanalizacijske cijevi, elementi stubišta, stropne grede, rubnjaci i sl.). Snažno razvijena industrija cementa u Dalmaciji u to je doba osobito pogodovala razvoju tvornica betonskih proizvoda u tom dijelu zemlje. Tako je npr. od 1921. u Vranjicu kraj Solina djelovala tvornica azbestocementnih proizvoda → Salonit. Proizvodila je krovni pokrov, cijevi i druge proizvode, kojih je primjena danas, nakon dokaza o njihovoj štetnosti za zdravlje, zabranjena.

U zagrebačkom Remetincu su se od 1941. proizvodili elementi od prednapetog betona (poduzeće Hoyer Zorislava Franjetića, poslije Jugobeton, od 1969. u sastavu Jugomonta). Godine 1951. osnovan je u Zagrebu Betonproizvod (od 1964. u sastavu Industrogradnje), gradsko poduzeće za izradbu betonskih proizvoda, koji je među prvima izrađivao armiranobetonske omnia ploče za polumontažnu izvedbu stropnih konstrukcija. U sastavu poduzeća

BETON, laboratorij za ispitivanje u IGH-u, Zagreb  
foto: D. Pongračić / CROPIX



Graditelj iz Vinkovaca, osnovanog 1954., djelovao je pogon Vibrobeton, koji je proizvodio prednapete konstruktivne elemente industrijskih i drugih hala. Uprkos pokretanju proizvodnje inovativnih šupljih prednapetih stropnih ploča 2004., od početka 2010-ih poduzeće više ne djeluje. Zagrebačko poduzeće → Viadukt proizvodilo je montažne gredne nosače za vijadukte i mostove od 1977., a osnovalo je i tvornicu prednapetih betonskih elemenata u Pojatnom 1983. Početkom 1960-ih su iz Istarskih rudnika nemetala izrasli poduzeće Siporex, tvornica plinobetona i rudnici kremenca Pula (poslije Ytong Croatia, odn. Xella porobeton Zagreb, od 2000-ih više ne djeluje) koje je proizvodilo građevne blokove od plinobetona.

Među najvećim hrvatskim proizvođačima betonskih proizvoda danas je → Beton Lučko, koji se razvio iz obiteljskog obrta osnovanoga 1986. Proizvodi betonsku galanteriju (opločnici, rubnjaci, kanalice, cijevi, fasadne obloge, obloge za stube) te prefabricirane elemente od armiranoga i prednapetoga betona za primjenu u niskogradnji i visokogradnji. Poduzeće ulazi u razvoj vlastitih tehnologija, te je u suradnji s Građevinskim fakultetom u Zagrebu sudjelovalo u projektu Razvoj inovativnih građevnih kompozita primjenom biopepela (2019–23).

Uz spomenute, danas su veći proizvođači betonske galanterije i prefabriciranih dijelova montažnih hala → Zagorje tehnobeton iz Varaždina, → GP Krk, Betoncommerce iz Tinjana, Palace iz Zagreba, Međimurje PMP iz Čakovca i dr. U sastavu austrijske grupacije → Wienerberger djeluje poduzeće Semmelrock Stein+Design, koje u Otoku Oštarij-

skom kraj Ogulina proizvodi opločnike i betonsku galanteriju od 2002.

#### Visoko školstvo, znanost i publicistika

Začetke visokoškolskog obrazovanja teorije i tehnologije betona predstavljaju pojedina poglavlja kolegija Tehničke visoke škole u Zagrebu (osnovana 1919., od 1926. Tehnički fakultet) koje su predavali profesori ispitivanja materijala → Stjepan Timošenko (sv. 1) i njegov nasljednik → Konstantin Čališev, te konstruktori Milan Čalogović, → Vladimir Juranović, A. Kaiser i dr. Stup tog obrazovanja je od 1956. Arhitektonsko-građevinsko-geodetski fakultet u Zagrebu iz kojega se 1962. izdvojio → Građevinski fakultet. Na tom je fakultetu 1991. osnovan Zavod za materijale (do 2006. Zavod za gradiva). Predstojnici Zavoda bili su Velimir Ukrainczyk (1991–03), Dunja Mikulić (2003–06., 2008–10), → Dubravka Bjegović (2007–08) i Ivana Banjad Pečur (od 2011). U sastavu Zavoda za materijale djeluje Katedra za tehnologiju materijala i Katedra za istraživanje materijala koje organiziraju izvođenje kolegija Teorija i tehnologija betona, Posebni betoni i tehnologije, Hidrotehnički betoni, Betoni visokih uporabnih svojstava, Betoni prometnica i dr.

O tehnologiji betona predaje se na → Fakultetu građevinarstva, arhitekture i geodezije u Splitu (Katedra građevinski materijal) i → Građevinskom fakultetu u Rijeci, osnovanima 1971., te na → Građevinskom i arhitektonskom fakultetu Osijek (Zavod za materijale i konstrukcije) osnovanom 1976. Razvoju tehnologije betona i ispitivanja betonskih

konstrukcija pridonijeli su stručnjaci → Instituta građevinarstva Hrvatske osnovanoga 1949.

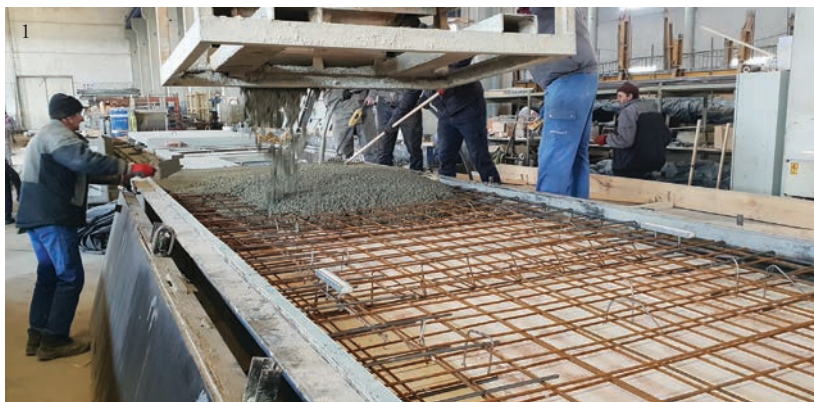
Prvi je udžbenik iz tog područja *Željezni beton* (1922) A. Kaisera, a ističu se i starija djela *Priručnik za armirani beton* (1948–66) Branka Širole, *Svojstva lakih betona* (1950) → Zlatka Kostrenčića, *Beton i armirani beton I i II* (1970. i 1968) V. Juranovića i dr., te novija djela *Beton. Struktura, svojstva i tehnologija V.* Ukrainczyka (1988), *Priručnik za beton* (1990) Jove Beslaća, *Svojstva i tehnologija betona* (2000) Petra Krstulovića, *Teorija i tehnologija betona* (2015) D. Bjegović i Nine Štirmer i dr.

LIT.: C. Kersten: *Brücken in Eisenbeton II.* Berlin, 1913., str. 102. — K. Mirković: *Jugobeton, građevno industrijsko i montažno poduzeće.* Građevinar, 15(1963) 6, str. 229. — D. Kovačec: *Betonara Tempo u 1964. godini.* Građevinar 16(1964) 11., str. 400–405. — J. Radić: *Prvi naš armiranobetonski most. Ceste i mostovi 28* (1982) 12, str. 383–384. — A. Klemenčić: *Građevinarstvo u Hrvatskoj od 1874. god. do danas.* U: Znanost u Hrvata. Prirodoslovlje i njegova primjena 2 (katalog izložbe). Zagreb, 1996., str. 432–433. — Z. Šavor: *Most preko Rijeke Dubrovačke.* Građevinar 54(2002) 6, str. 329–344. — *Most preko rijeke Krke kod Skradina.* Gradilišta, Građevinar 55(2003) 12, str. 743–749. — Z. Marić, D. Tkalčić: *Nova postignuća u građenju betonskih mostova u Hrvatskoj.* Građevinar 55(2003) 4, str. 191–200. — J. Radić: *Pontifex Maximus: život i ostvarenja najvećega hrvatskog mostograditelja prof. dr. Krune Tonkovića.* Zagreb, 2003. — D. Vujić: *Radovi na izvanrednom održavanju Krčkog mosta.* Građevinar 56(2004) 9, str. 547–553. — D. Damjanović: *Armiranobetonski most preko Velikog Struga kod Bročica, 1915. – 1916.* Prostor, 14(2006) 1 (31), str. 54–62. — D. Damjanović: *Zvonik kalvinske crkve u Vukovaru iz 1910. godine.* Građevinar 60(2008) 5, str. 403–410. — I. Palčić: *Paški most – Izgradnja, obrana, obnova.* Rijeka, 2008. — D. Damjanović: *Vukovarski arhitekt Fran Funtak.* Zagreb, 2009. — N. Palinić: *Rane armiranobetonske konstrukcije u riječkoj luci.* Građevinar 61(2009) 5, str. 435–444. — *Sedamdeseta obljetnica mostova na Savi u Zagrebu.* Građevinar 61(2009) 12, str. 1187–1190. — D. Damjanović: *Počeci gradnje armiranobetonskih mostova u Hrvatskoj i vukovarski arhitekt Fran Funtak.* Hrvatska revija 14(2014) 2, str. 16–22. — D. Bjegović, N. Štirmer: *Teorija i tehnologija betona.* Zagreb, 2015.

N. Štirmer

**Beton-Lučko d. o. o.**, poduzeće za proizvodnju agregata, betona i betonskih proizvoda, betonskih opločnika i rubnjaka, betonskih elemenata za popločavanje urbanih prostora, predgotovljenih betonskih elemenata i specijalnih betonskih elemenata. Poduzeće je osnovano 1990., sa sjedištem u zagrebačkom Lučkom, a nastalo je iz obiteljskog obrta osnovanoga 1986.

Poduzeće se bavi i projektiranjem kao pripremom za proizvodnju i montažu predgotovljenih, odnosno specijalnih betonskih elemenata. Bavi se i izgradnjom hala po montažnom sustavu od armiranog i prednapetog betona te izgradnjom stambenih i industrijskih objekata, gotovih betonskih garaža, proizvodnjom specijalnih elemenata poput gotovih stubišnih krakova, vodomjernih okana, elemenata namijenjenih gradnji cesta, autocesta i tunela te ploča za zatvaranje tramvajskih kolosijeka.



Proizvodni pogoni nalaze se u Lučkom (proizvodnja betonske galanterije i specijalni betonski elementi) i Karlovcu (proizvodnja predgotovljenih betonskih elemenata: stupova, greda, krovnih nosača, stropnih ploča s rešetkastim nosačima, TT-ploča, stuba, fasadnih zidova, zidova za zaštitu od buke, elemenata tunelske odvodnje te posebnih elemenata u odvodnji i kanalizaciji). Poduzeće rabi modernu proizvodnu tehnologiju i potpuno automatizirana postrojenja za podešavanje optimalnih proizvodnih uvjeta (vlažnost agregata, količine boje, cementa, vode i dodataka betonu).

U poduzeću se provodi stalna kontrola proizvodnih procesa i ulaznih materijala iz vlastitih proizvodnih pogona – šljunčare Đelekovec. Poduzeće Beton-Lučko RBG sa sjedištem u Lučkom nastalo je izdvajanjem (2006) gospodarske cjeline iz matičnog



BETON LUČKO –  
1., 2. proizvodnja montažnih fasadnih obloga i panela

3. proizvodnja fasadnih panela u pogonu u Karlovcu