

## PRIMENA VALJANOG BETONA U IZGRADNJI BRANA I DEO - ISTORIJSKI RAZVOJ

Vladan KUZMANOVIĆ  
Ljubodrag SAVIĆ  
Bojan MILOVANOVIĆ  
Građevinski fakultet, Beograd

### REZIME

U ovom članku data je definicija valjanog betona i njegove osnovne karakteristike kao novog materijala i nove metode građenja. Potom slede svetska iskustva u građenju brana od valjanog betona sa tabelom u kojoj je 238 brana i osnovni podaci o konstrukciji. Na osnovu tabele dat je pregled najznačajnijih brana po visini, zapremini ugrađenog valjanog betona i dužini u kruni. Da bi se ukazalo na moguće koncepcije u građenju brana od valjanog betona, analizirane su osnovne karakteristike brana u Kini, Japanu, SAD, Brazilu i Španiji (koje predstavljaju vodeće zemlje u ovoj oblasti), njihove sličnosti i razlike. Na kraju je pregled osnovne literature korišćene pri pisanju rada.

**Ključne reči:** valjani beton, brane od valjanog betona, betonska mešavina, cementni materijali, pucolan.

### UVOD

U poslednje vreme u našoj zemlji oživele su aktivnosti u vezi sa projektovanjem i planiranjem izgradnje novih brana i akumulacija. O tome svedoči uspešan završetak revizije Glavnog projekta brane i akumulacije "Svračkovo" na Velikom Rzavu uzvodno od Arilja, nastavak izrade Glavnog projekta brane "Bogovina" na Crnom Timoku nedaleko od Boljevca, druga faza Glavnog projekta brane i akumulacije "Ključ" na reci Šumanki jugoistočno od Lebana itd. Imajući ovo u vidu, autori su planirali da u narednim brojevima objave nekoliko članaka posvećenih primeni valjanog betona u izgradnji brana, sa ciljem da se šira domaća stručna javnost upozna sa dosadašnjim svetskim iskustvima, osobinama, mogućnostima projektovanja i građenja i ekonomskim aspektima upotrebe valjanog betona.

### 1. DEFINICIJA VALJANOG BETONA

**Beton zbijen valjanjem**, ili kraće **valjani beton**, predstavlja prevod naziva relativno nove vrste betona Roller Compacted Concrete (RCC, Rolled Concrete, Rollcrete). Od svih ovih naziva koji su prilično ravnopravno zastupljeni u stručnoj javnosti, autori su se ipak opredelili za varijantu **valjani beton** koja najviše odgovara duhu srpskog jezika. Zbog toga je u daljem tekstu najčešće korišćen ovaj naziv, s tim što su ponekad upotrebljeni i kraći nazivi RCC i Rollcrete.

Postoji veliki broj definicija valjanog betona. Prema ACI [1], [6], **valjani beton je beton čija je mešavina vrlo krute konsistencije i koji se transportuje, razastire i zbija mehanizacijom za nasute brane**. Dve osnovne karakteristike valjanog betona su:

- 1) tehnološki postupak transporta, ugrađivanja i zbijanja betona mehanizacijom za nasute zemljane brane omogućava izuzetno velike dnevne učinke i znatno skraćanje vremena građenja;
- 2) kruta konsistencija betonske mešavine dozvoljava da valjani beton u neočvrslom stanju izdrži pritisak mehanizacije kojom se ugrađuje, a mala količina cementa sa dodatkom pucolana omogućava značajne uštede u ceni građenja brana od valjanog betona u odnosu na klasične gravitacione betonske brane.

Dakle, valjani beton nije samo *nov materijal*, već, što je još značajnije, predstavlja i *novu metodu građenja* koja je omogućila da se u poslednjih 15 godina u svetu ponovo poveća broj gravitacionih betonskih u odnosu na nasute brane.

## 2. RAZVOJ BRANA OD VALJANOG BETONA

Naziv rollcrete potiče iz 1960. godine i prvi ga je upotrebio **John Lowe III** za materijal kojim je građeno jezgro brane **Shimen na Tajvanu**, [9]. Naime, da bi iskoristili peščar, graditelji su na 1 m<sup>3</sup> agregata dodavali džak cementa i džak elektrofilterskog pepela. Dobijena mešavina razastirana je u slojevima od po 30 cm pomoću dozera, kojima je istovremeno vršeno i zbijanje (zajedno sa teškim kamionima za transport mešavine).

Jedna od prvih brana na kojoj je vršeno ekonomisanje sa količinom cementa (**Giulio Gentile**) bila je brana **Alpe Gera u Italiji**, građena od 1961. do 1964. godine, visoka 172 m, [7]. Veći deo jezgra ove brane u kome su naponi bili mali, izgrađen je od mešavine koja je dopremana kamionima, ali je zatim ugrađivana klasično, pomoću masivnih pervibratora montiranih na ram dozera koji je razastirao mešavinu u slojevima debljine 70 cm. Vodonepropustljivost brane postignuta je oblaganjem uzvodne konture čeličnim pločama. Sličan postupak građenja u Italiji ubrzo je primenjen i na brani **Quaira Della Miniera**.

U Kaliforniji (SAD) jedna privatna konsultantska firma 1967. godine uradila je projekat 18 m visoke brane **Sly Creak** od valjanog betona. Nadležne državne institucije odobrile su projekat, ali gradnja brane nije započeta zbog finansijskih problema.

Godine 1968. valjani beton primenjen je za izgradnju masivnih temelja kanala za evakuaciju vode na brani **Cochiti u Novom Meksiku**.

Podstaknut pozitivnim iskustvima prethodnika, **Jerome Raphael** je 1970. godine objavio rad pod naslovom "**The optimum gravity dam**" u kome je prvi put detaljnije obrazložena ideja o izgradnji brana primenom cementom obogaćenog krupnog agregata koji bi se ugrađivao visokoproduktivnom mehanizacijom za nasute brane. Pored toga autor je predvideo da će doći do promene oblika i značajnog smanjenja poprečnog preseka u odnosu na nasute brane.

Istovremeno, i mnogi drugi eksperimentišu sa upotrebom "mršavog" betona koji je transportovni kamionima, razastiran utovarivačima i zbijan valjcima. Tako, **Robert W. Cannon** 1972. godine objavljuje rad pod nazivom "**Concrete Dam Construction Using Earth Compaction Methods**". Ovaj rad je rezultat prvog istraživanja osobina valjanog betona na probnom polju u razmeri 1:1 sprovedenog 1970. godine od strane

Tennessee Valley Authority (TVA) na brani **Tims Ford**. U toku 1972. i 1973. godine, U.S. Corps of Engineers (USCE) sprovodi obimna istraživanja na probnim poljima brane **Jackson u Misisipiju** i brane **Lost Creak u Oregonu (SAD)**, [4].

Prekretnicu u izgradnji brana od valjanog betona predstavlja 143 m visoka nasuta brana **Tarbela u Pakistanu**, [2], [9]. Avgusta meseca 1974. godine, u vreme završetka izgradnje brane i prvog punjenja akumulacije došlo je do teške havarije na jednom od tunela temeljnih ispusta. Jedini način da se sanira oštećenje i akumulacija osposobi da primi poplavne talase koji nastaju u proleće usled topljenja snega bila je upotreba valjanog betona. Za ukupno 42 radna dana ugrađeno je više od 350.000 m<sup>3</sup> valjanog betona, tj. prosečno je ugrađivano više od 8.300 m<sup>3</sup> na dan, sa maksimalnim dnevnim učinkom od 18.360 m<sup>3</sup> valjanog betona. Međutim, graditeljskim mukama tu nije bio kraj. Posle prve sezone rada postrojenja punim kapacitetom došlo je do erozije bokova i dna slapišta, preteći da sruši deflektore mlaza na kraju brzotoka preliva. Ponovo je spas nađen u valjanom betonu. U roku od 5 meseci ugrađeno je oko 500.000 m<sup>3</sup> RCC-a, čime su sprečena nova oštećenja konstrukcija za evakuaciju velikih voda. U periodu od 1974. do 1982. godine, na brani **Tarbela** ukupno je ugrađeno oko 2.700.000 m<sup>3</sup> valjanog betona. Prosečna potrošnja cementa bila je 87 kg/m<sup>3</sup>, vlažnost pri ugradnji 3,9 %, prosečna čvrstoća na pritisak cilindričnih uzoraka 12,6 MPa (maksimalna 22,9 MPa, a minimalna 5,2 MPa). Beton je zbijan sa 4 prelaza vibro-valjkom težine 9 t u slojevima debljine 33 cm. Na kontrolnim uzorcima nije se mogla ustanoviti granica između slojeva.

Poseban doprinos razvoju brana od valjanog betona ostvaren je u Japanu. Od 1974. godine tim specijalista za betonske brane koje je predvodio dr **Kokobu** razvija autentičnu vrstu valjanog betona koja je poznata kao **RCD (Roller Compacted Dam Concrete)** metoda, [3]. Specifičnost RCD-a je u tome što su količine cementa po pravilu veće nego kod RCC-a, što je pre razastiranja sledećeg sloja obavezno nanošenje cementnog maltera radi obezbeđivanja boljeg kontakta slojeva i što su spoljašnje konture preseka brane od klasičnog hidrotehničkog betona debljine oko 3,0 m. Očigledno je da su zahtevi RCD metode strožiji, što proističe iz visoke seizmičke aktivnosti na području Japana. Prva brana izgrađena primenom RCD metode bila je brana **Shimajigawa** završena 1980. godine, visine 89 m, zapremine 317.000 m<sup>3</sup>, od čega je 165.000 RCD valjanog betona.

Tabela 1. Brane od valjanog betona

Rbr.	Ime brane	Država	Reka	God. izgrad.	Zap. akum. (10 <sup>6</sup> m <sup>3</sup> )	Visina (m)	Dužina u kruni (m)	Zap. RCC-a (10 <sup>3</sup> m <sup>3</sup> )	Ukupna zap.	Nagib uzv.	Nagib nizv.	Nagib preliva	Debljina razastiranja	Debljina slojeva	C+FA (kg/m <sup>3</sup> )
1	Shimajigawa	Japan	Shimaji	1980	21	89	240	165	317	V-0,30	0,80	0,80	15-20	50-70	84+36 F
2	Willow Creek	SAD	Willow Creek	1982	17	52	543	331	331	V	0,80	0,80	30	30	47+19 F
3	Copperfield	Australija	Copperfield	1984	20	40	340	140	156	V	0,90	0,80	30	30	80+30 F
4	Middle Fork	SAD	Middle Fork	1984	1	38	125	42	43	V	0,80	ispust	30	30	66+0
5	Winchester	SAD	Upper Howard Creek	1984	2	23	363	24	27	V	V	1,00	30	30	104+0
6	Galesville	SAD	Cow Creek	1985	52	50	290	161	171	V	0,80	0,80	30	30	53+51 F
7	Erizana	Španija	/	1985	/	15	115	10	12	0,10	0,60	/	/	/	90+90 F
8	Castilblanco	Španija	Cala	1985	1	25	124	14	20	V	0,75	0,75	45	45	72+116 F
9	Kengkou	Kina	Pingshanxi	1986	27	57	123	43	62	V	0,75	0,75	25 ili 50	25 ili 50	60+120 F
10	Craigbourne	Australija	Coal	1986	13	25	247	22	24	V	1,00	ispust	30	30	70+60 F
11	Tamagawa	Japan	Tama	1986	254	100	441	772	1150	V-0,60	0,81	0,81	15-20	75-100	91+39 F
12	Grindstone Canyon	SAD	Grindstone	1986	2	42	432	88	96	V	0,75	0,75	30	30	76+0
13	Monksville	SAD	Wanaque	1986	27	48	670	219	232	V	V-0,78	0,78	30	30	64+0
14	De Mist Kraal	Južna Afrika	Little Fish	1986	4	30	300	35	65	V	0,60	0,60	25	25	58+58 F
15	Saco de Nova	Brazil	Gravata	1986	95	56	230	132	143	V	0,80	ispust	40	40	55+15 P
16	Arabie	J. Afrika	Olifants	1986	104	36	455	101	142	V	0,50-0,75	0,75	30	30	36+74 Z
17	Zaaihoek	J. Afrika	Slang	1987	190	47	527	97	134	V	V-0,62	0,62	25	25	36+84 Z
18	La Manzanilla	Meksiko	Ibarrilla	1987	1	36	150	20	30	V-0,25	V-0,75	0,75	30	30	135+135 P
19	Lower Chase Creek	SAD	Lower Chase Creek	1987	1	20	122	14	22	V	0,70	0,70	30	30	64+40 F
20	Upper Stillwater	SAD	Rock Creek	1987	37	91	815	1125	1281	V	0,32-0,60	0,32-0,60	30	30	79+173 F
21	Los Morales	Španija	Morales	1987	2	28	200	22	26	V	0,75	0,75	30-40	30-40	80+140 F
22	Les Olivettes	Francuska	La Payne	1987	4	36	255	80	85	V	0,75	0,75	30	30	0+130 FZ
23	Elk Creek	SAD	Elk Creek	1988	125	35	365	266	348	V	0,80	0,80	15	60	70+33 F
24	Mano	Japan	Mano	1988	36	69	239	104	219	V	0,80	0,80	18	50	96+24 F
25	Ain Al Koreima	Maroko	Akreuch	1988	1	26	124	27	30	V-0,20	0,75	0,60	35	35	140+60 Z
26	Shiromizugawa	Japan	Shiromizu	1988	5	55	367	142	314	V	0,80	0,80	15	50	96+24 F

R.br.	Ime brane	Država	Reka	God. izgrad.	Zap. akum. (10 <sup>6</sup> m <sup>3</sup> )	Visina (m)	Dužina u kruni (m)	Zap. RCC-a (10 <sup>3</sup> m <sup>3</sup> )	Ukupna zap.	Nagib uzv.	Nagib nizv.	Nagib preliva	Debljina razastiranja	Debljina slojeva	C+FA (kg/m <sup>3</sup> )
27	Santa Eugenia	Španija	Xallas	1988	17	84	290	225	254	0,05	0,75	0,75	25	25	72+143 F
28	Asahogawa	Japan	Toyama-ken	1988	5	84	260	268	361	V-0,90	0,80	0,80	18	50	96+24 F
29	Stagecoach	SAD	Yampa	1988	42	46	116	34	38,5	V	0,80	0,80	30	30	71+71 F
30	Pirika	Japan	Shirobeshit-oshibetsu	1988	18	40	910	162	360	V	0,80	0,80	25	75	84+36 F
31	Vadeni	Rumunija	Jiu	1988	5	25	55	14	17	/	/	/	30	90	125+0
32	Rwedat	Maroko	Rwedat	1988	3	24	125	25	27	0,40	0,40	0,40	40	40	100+0
33	Nunome	Japan	Nunome	1988	17	72	322	110	370	V-0,40	0,76	0,76	25	75	78+42 F
34	Knellport (AG)	J. Afrika	Rietspruit	1988	137	50	200	45	59	V	0,60	0,60	25	25	61+142 F
35	Urugua-i	Argentina	Urugua-i	1989	1175	76	687	590	626	V	0,80	0,80	40	40	60+0
36	Stacy	SAD	Colorado	1989	700	31	173	89	158	V	0,83	preliv	30	30	125+62 F
37	Tirgu Jiu	Rumunija	Jiu	1989	2	24	61	13	26	/	/	preliv	30	90	125+0
38	Spitskop	J. Afrika	Harts	1989	61	15	100	17	36	V	0,70	0,70	25	25	91+92 F
39	Rongdi	Kina	Dulanghe	1989	19	53	136	61	74	V	0,75	0,65	30	30	90+140 F
40	Wrights Basin	Australija	Point Hut Creek	1989	1	18	86	9	9	V	1,00	1,00	30	30	145+73 F
41	Longmentan	Kina	Dazhangxi	1989	53	58	150	71	93	V-0,30	0,75	0,75	30	30	72+82 F
42	Wolwedans (AG)	J. Afrika	Great Brak	1989	24	70	268	180	210	V	0,50	0,50	25	25	58+136 F
43	Marmot	SAD	Sandy	1989	/	17	59	7	9	V	0,80	0,80	10	60	70+109 F
44	Tashkumyr	Kirgistan	Naryn	1989	140	75	320	100	1300	V	0,78	0,78	40	40	90+30 P
45	Tongjiezi	Kina	Daduhe	1989	200	88	1029	407	855	V	0,75	0,75	30-50	50	79+79 F
46	Xitou	Kina	/	1989	/	47	/	27	30	V	/	/	/	/	/
47	Panjiakou	Kina	Luanhe	1989	10	25	277	17	23	V	0,60	ispust	30	30	93+60 F
48	Dodairagawa	Japan	Kabura	1990	5	70	300	167	346	V-0,40	0,75	0,75	18	50	96+24 F
49	Quail Creek South	SAD	Quail Creek	1990	50	42	610	130	150	V	V-0,85	ispust	30	30	80+53 F
50	Tianhengqiao 2	Kina	Nanpanjiang	1990	26	61	470	143	284	V	V-0,40	preliv	25	25	79+79 F

R.br.	Ime brane	Država	Reka	God. izgrad.	Zap. akum. (10 <sup>6</sup> m <sup>3</sup> )	Visina (m)	Dužina u kruni (m)	Zap. RCC-a (10 <sup>3</sup> m <sup>3</sup> )	Ukupna zap.	Nagib uzv.	Nagib niv.	Nagib preliva	Debljina razastiranja	Debljina slojeva	C+FA (kg/m <sup>3</sup> )
51	Concepcion	Honduras	Concepcion	1990	35	68	694	270	290	0,075	0,80	0,80	40	40	95+0
52	Wriggleswade	J. Afrika	Kubusie	1990	94	34	737	134	165	V	0,62	0,62	25	25	44+66 F
53	Le Riou	Francuska	Riou	1990	1	26	308	41	46	V	0,60	0,60	30	30	0+120 FZ
54	Marono	Španija	Izoria & Idas	1990	2	53	182	80	91	0,05	0,75	0,75	30	30	65+170 F
55	Caraibas	Brazil	Caraibas	1990	10	26	160	18	22	0,10	0,80	0,80	30	30	58+16 P
56	Asari	Japan	Asari	1990	9	74	390	259	517	V-0,30	0,80	0,80	18	50	96+24 F
57	Aoulouz	Maroko	O.Souss	1990	110	75	480	608	830	V	0,85	0,85	50	50	120+0
58	Hervas	Španija	Hervas	1990	1	33	210	24	43	0,15	0,70	0,70	30	30	80+155 F
59	Freeman diversion	SAD	Santa Clara	1990	/	17	366	101	110	V	0,80	0,80	30	30	125+83 F
60	Kamuro	Japan	Kaneyama	1990	7	61	257	136	307	V	0,75	0,75	15-20	75	96+24 F
61	Glen Melville	J. Afrika	Ecce	1990	7	32	380	66	114	V	0,75	0,75	33	33	65+65 F
62	Thornlca	J. Afrika	Mlazi	1990	3	17	135	16	17	V	0,90	0,90	17	17	38+87 Z
63	Gameleira	Brazil	Gameleira	1991	2	29	150	27	29	V	/	/	40	40	65+0
64	Cuchillo Negro	SAD	Cuchillo Negro	1991	/	50	186	75	82	V	0,90	ispust	30	30	77+59 F
65	Sakaigawa	Japan	Sakai	1991	60	115	298	373	718	V-0,80	0,78	0,78	18	75	91+39 F
66	Los Canchales	Španija	Lacara	1991	15	32	240	25	54	V	0,50-0,80	/	25	25	84+156 F
67	New Victoria	Australija	Munday Brook	1991	10	52	285	121	135	V	0,32-0,80	0,32-0,80	30	30	79+160 F
68	Burguillos	Španija	Ribera de los Montes	1991	3	24	167	25	33	V	0,60	0,60	30	30	80+135 F
69	Victoria replacement	SAD	West branch	1991	13	37	100	36	40	V	0,80	0,80	30	30	67+67 F
70	Puebla De Cazalla	Španija	Corbones	1991	74	71	220	205	220	V-0,20	0,80	0,80	30	30	80+130 F
71	Belen Cagueta	Španija	Belen	1991	1	31	160	24	29	0,05	0,75	0,75	30	30	73+109 F
72	Choldocogagna	Francuska	Lessarte	1991	1	36	100	19	23	0,10	0,75	0,75	30	30	0+110 FZ
73	Belen Gato	Španija	Belen	1991	1	34	158	38	41	0,05	0,75	0,75	30	30	73+109 F

Rbr.	Ime brane	Država	Reka	God. izgrad.	Zap. akum. (10 <sup>6</sup> m <sup>3</sup> )	Visina (m)	Dužina u kruni (m)	Zap. RCC-a (10 <sup>3</sup> m <sup>3</sup> )	Ukupna zap.	Nagib uzv.	Nagib nizv.	Nagib preliva	Debljina razastiranja	Debljina slojeva	C+FA (kg/m <sup>3</sup> )
74	Mahui	Kina	Jialingjiang	1991	80	27	141	260	410	V	0,80	preliv	30	30	115+40 F
75	Sabigawa	Japan	Cosabi	1991	11	104	273	400	590	0,10	0,80	0,80	25	75	91+39 F
76	Amatisteros III	Španija	Belen	1991	1	19	75	4	5	0,05	0,75	0,75	30	30	73+109 F
77	Caballar I	Španija	Belen	1991	1	16	98	6	7	0,05	0,75	0,75	30	30	73+109 F
78	Belen Flores	Španija	Belen	1992	1	28	87	10	12	0,05	0,75	0,75	30	30	73+109 F
79	Yantan	Kina	Hongshuihe	1992	2430	111	525	626	905	V	V-0,80	preliv	30	30	55+104 F
80	Allan Henry Spillway	SAD	Double Mountain Fork	1992	140	25	84	22	23	V	1,10	preliv	30	30	119+59 F
81	Capanda	Angola	Kwanza	1992	4795	110	1203	757	1154	V	0,70	0,70	40	40	70+100 /
82	Shuikou	Kina	Mingjiang	1992	2340	101	791	600	1710	V	0,73	preliv	20-33	20-33	60+110 F
83	Town Wash	SAD	Town Wash	1992	/	18	264	43	45	V	1,50	1,50	20	20	107+71 F
84	Urdalur	Španija	Alzania	1992	5	58	396	159	208	V	0,75	0,75	30	30	53+123 F
85	C. E. Siegrist	SAD	Mill	1992	4	40	213	69	70	V	0,80	0,80	30	30	59+34 F
86	Taung	Južna Afrika	Harts	1992	66	50	320	132	153	V	V-0,75	0,75	25	25	44+66 F
87	Arriaran	Španija	Arriaran	1992	3	58	206	110	113	0,05	0,70	0,70	30	30	85+135 F
88	Zintel Canyon	SAD	Zintel	1992	3	39	158	54	55	V	0,85	0,85	30	30	74+0
89	Kroombit	Australija	Kroombit Creek	1992	13	26	250	84	110	V	0,70	0,70	30	30	82+107 F
90	Burton Gorge	Australija	Isaac	1992	20	26	285	64	68	V	0,80-1,00	0,80	30	30	85+0
91	Ryimon	Japan	Sakoma	1992	42	100	378	521	836	V-0,30	0,80	0,80	15-20	75-100	91+39 F
92	Youmoua	Maroko	Youmoua	1992	7	57	297	162	200	0,20	0,80	0,80	35	35	0+105 P
93	Trigomil	Meksiko	Ayuguila	1992	324	100	250	362	681	V-0,24	V-0,80	0,80	30	30	148+47 F
94	Guangzhou	Kina	Lixihe	1992	17	44	153	32	56	V	0,70	0,78	30	30	62+108 F
95	Paxton (AG)	Južna Afrika	Tsorwo	1992	1	17	70	3	3	V-0,50	V-0,50	0,50	15	15	70+100 F
96	Wan'an	Kina	Gangjiang	1992	2210	68	164	156	211	V	0,80	preliv	30	30	65+105 F
97	Petit Saut	Francuska Gvajana	Sinnamary	1993	3500	48	740	250	410	V	V-0,80	0,80	30	30	0+120 FZ
98	Elmer Thomas	SAD	Little Medicine Creek	1993	10	34	128	29	34	V	0,64	nema	30	30	89+89 F

R.br.	Ime brane	Država	Reka	God. izgrad.	Zap. akum. (10 <sup>6</sup> m <sup>3</sup> )	Visina (m)	Dužina u kruni (m)	Zap. RCC-a (10 <sup>3</sup> m <sup>3</sup> )	Ukupna zap.	Nagib uzv.	Nagib nizv.	Nagib preliva	Debljina razastiranja	Debljina slojeva	C+FA (kg/m <sup>3</sup> )
99	Jingjiang	Kina	Jialingjiang	1993	189	60	229	182	267	V	0,75	0,65	30	30	70+80 F
100	Marathia (HF)	Grčka	Marathia	1993	3	28	265	31	48	0,50	0,50	0,50	20-30	20-30	55+15 P
101	Puding (A)	Kina	Sanchahe	1993	920	75	196	103	137	V	0,35	0,35	30	30	85+103 F
102	Imin El Kheng	Maroko	Oueid Berhil	1993	11	39	170	130	140	0,20	0,80	0,80	30	30	100+20 P
103	Tsugawa	Japan	Kamo	1993	6	76	228	222	342	V-0,60	0,76	0,76	25	75	96+24 F
104	Cenza	Španija	Cenza	1993	43	49	609	200	225	V	0,75	0,75	30	30	70+130 F
105	Spring Hollow	SAD	Off-stream	1993	12	74	302	222	223	V	0,80	nema	30	30	53+53 F
106	Hatabara	Japan	Ashida	1993	60	83	325	228	500	V-0,20	0,75	0,75	15-20	75	84+36 F
107	Hudson River	SAD	Mountain Creek	1993	/	21	168	26	28	V	0,80	0,80	30	30	119+84 F
108	Shuidong	Kina	Youxi	1993	105	68	239	84	126	V	0,75	0,75	30	30	50+90 F
109	Sierra Brava	Španija	Pizarroso	1993	232	54	835	277	340	0,05	0,75	0,75	30	30	70+130 F
110	Kodama	Japan	Kodama	1993	14	102	280	358	554	V-0,20	0,76	0,76	25	75	84+36 Z
111	Villaunar	Francuska	Le Cantache	1993	7	16	147	11	15	V	0,75	0,75	30	30	0+90 FZ
112	Vindramas	Meksiko	El Bledal	1993	102	50	807	117	184	V	0,80	0,80	30	30	100+100/
113	Miyatoko	Japan	Miyatoko	1993	5	48	256	172	280	0,60	0,80	0,80	18	50	96+24 F
114	Daguangba	Kina	Changhuajiang	1993	1710	57	827	485	827	V	0,75	0,75	30	30	55+96 F
115	Sahla	Maroko	Sahla	1993	62	55	160	136	146	0,20	0,80	0,80	30	30	85+15 P
116	Pelo Sinal	Brazil	Taperoaba	1993	76	34	296	69	80	/	/	/	/	/	100+0
117	Petit Saut	Francuska	/	1993	/	48	740	250	410	V	0,80	/	/	/	120+0
118	La Cantache	Francuska	/	1993	/	16	147	11	15	V	0,75	/	/	/	90+0
119	Le Sep	Francuska	Le Sep	1994	5	46	145	49	58	V	0,72	0,72	30	30	0+120 FZ
120	Pak Mun	Tajland	Mun	1994	/	26	323	48	50	V	V-0,80	ispust	30	30	58+124 F
121	Hinata	Japan	Kasshi	1994	6	57	290	113	240	V	0,75	0,75	18-25	50-100	84+36 F

Rbr.	Ime brane	Država	Reka	God. izgrad.	Zap. akum. (10 <sup>6</sup> m <sup>3</sup> )	Visina (m)	Dužina u kruni (m)	Zap. RCC-a (10 <sup>3</sup> m <sup>3</sup> )	Ukupna zap.	Nagib uzv.	Nagib nizv.	Nagib preliva	Debljina razastiranja	Debljina slojeva	C+FA (kg/m <sup>3</sup> )
122	Shanzai	Kina	Beijiang	1994	181	65	273	180	245	V	0,80	0,77	30	30	65+125 F
123	San Lazaro	Meksiko	San Lazaro	1994	11	38	176	35	53	V-0,20	0,80	0,80	30	30	100+220 /
124	Wenquanpu (A)	Kina	Tanghe	1994	7	49	188	55	63	V	0,30	preliv	30	30	110+68 F
125	Rocky Gulch	SAD	Rocky Gulch	1994	/	18	55	6	7	V	0,80	nema	30	30	184+0
126	San Rafael	Meksiko	Santiago	1994	13	48	168	85	110	V	0,66	ispust	30	30	90+18 P
127	Lac Robertson	Kanada	Ha Ha	1994	587	40	124	28	35	V	0,75	ispust	30	30	85+85 F
128	Touche-Poupard	Francuska	Chambon	1994	15	36	200	34	46	V	0,75	0,75	30	30	0-115 FZ
129	Lower Molonglo	Australija	Unnamed Creek	1994	1	32	120	22	27	V	0,80	0,80	30	30	96+64 F
130	Varzea Grande	Brazil	Picui	1994	21	31	135	27	28	/	/	/	/	/	54+14 P
131	Cova da Mandioca	Brazil	Cova da Mandioca	1994	126	32	360	71	75	V	0,75	0,75	40	40	80+0
132	Acaua	Brazil	Paraiba	1994	247	79	375	674	/	/	/	/	/	/	64+16 P
133	Miyagase	Japan	Nakatsu	1995	19	155	400	1537	2001	0,20	0,62	0,62	15-20	75	91+39 F
134	Yoshida	Japan	Yoshida	1995	2	75	218	193	298	V	0,75	0,75	25	75	84+36 F
135	Chiya	Japan	Takahashi	1995	28	98	259	396	629	V	0,77	0,77	25	75	77+33 F
136	Canoas	Brazil	Sao Goncalo	1995	69	51	116	87	93	0,10	0,80	0,80	30	30	64+16 P
137	Ohmatsukawa	Japan	Matsu	1995	12	65	296	141	303	V-0,70	0,76	0,76	25	75	91+39 F
138	Xibin (AG)	Kina	Longshanxi	1995	9	63	93	25	33	V-0,08	0,65	0,65	30-35	30-35	79+105 F
139	Guanyinge	Kina	Taizihe	1995	2170	82	1040	1240	1970	V-0,10	0,70	0,70	27	75	91+39 F
140	Satsunaigawa	Japan	Satsunai	1995	54	114	300	536	760	0,40	0,80	0,80	25	75	42+78 Z
141	Enjil	Maroko	Taghoucht	1995	12	36	90	36	40	0,20	0,80	0,80	30	30	110+0
142	New Peterson Lake	SAD	Cacha La Poudre	1995	3	21	70	7	8	V	0,80	0,80	30	30	145+48 F
143	Shiokawa	Japan	Shio	1995	12	79	225	299	388	0,10	0,76	0,76	25	75	96+24 F



R.Jr.	Ime brane	Država	Reka	God. izgrad.	Zap. akumul. (10 <sup>6</sup> m <sup>3</sup> )	Visina (m)	Dužina u kruni (m)	Zap. RCC-a (10 <sup>3</sup> m <sup>3</sup> )	Ukupna zap.	Nagib uzv.	Nagib nizv.	Nagib preliva	Debljina razastiranja	Debljina slojeva	C+FA (kg/m <sup>3</sup> )
144	Uraymenta	Japan	Uraymenta	1995	58	156	372	1294	1860	V-0,65	0,80	0,80	25	75-100	91+39 F
145	Shimantan	Kina	Gunhe	1995	120	40	675	272	350	V	0,75	0,75	30	30	98+98 F
146	Nacaome	Honduras	Rio Grande Nacaome	1995	42	54	320	250	300	0,15	0,80	0,80	40	40	64+21 P
147	Trairas	Brazil	Serido	1995	49	25	440	27	28	/	/	/	/	/	/
148	Ano Mera	Grčka	Ano Mera	1995	1	32	155	49	64	0,50	0,50	0,50	20-30	20-30	55+15 P
149	Jordao	Brazil	Jordao	1996	110	95	550	570	647	V	0,74	0,74	40	40	68+17 P
150	Pangue	Čile	Bio-Bio	1996	175	113	410	670	740	V	0,80	0,80	30	30	80+100 P
151	Bailongtan	Kina	Hogshuihe	1996	69	28	247	62	80	V	0,70	0,70	30	30	73+110 F
152	Shimagawa	Japan	Shimaji	1996	9	90	330	390	490	V-0,50	0,80	0,80	25	75	84+36 F
153	Big Haynes	SAD	Big Haynes Creek	1996	/	27	427	72	74	V	0,80	0,80	30	30	42+42 F
154	Hiyoshi	Japan	Katsura	1996	66	70	438	440	640	V-0,80	0,80	0,80	25	75-100	84+36 F
155	Boqueron	Španija	Rambla del Boqueron	1996	13	58	290	137	145	0,05	0,73	0,73	30	30	55+130 F
156	Mantaicheng	Kina	Gayah	1996	99	37	357	78	136	V	0,75	0,75	30	100	60+120 F
157	Tomisato	Japan	Dozan	1997	53	111	250	409	480	V	0,76	0,76	25	75-100	84+36 F
158	Platanovyssi	Grčka	Nestos	1997	84	95	305	420	440	0,10	0,75	0,75	30	30	50+225 F
159	Wangyao	Kina	Dahexi	1997	13	79	390	320	435	V-0,20	0,70	0,75	30	30	60+96 F
160	Queiles y Val	Španija	Val	1997	25	82	375	480	520	V-0,33	0,80	0,80	30	30	80+145 F
161	Atance	Španija	Salado	1997	35	45	184	65	75	V	0,80	0,80	30	30	57+133 F
162	Takisato	Japan	Sorachi	1997	108	50	445	327	455	0,06	0,80	0,80	25	75	84+36 F
163	Kazunogawa	Japan	Tuchimuro	1997	12	105	264	428	622	V-0,10	0,82	0,82	17	100	91+39 F
164	Qedusizi	J. Afrika	Klip	1997	128	28	490	78	156	V	V-0,70	0,70	25	25	44+108 Z
165	Tie Hack	SAD	South Fork Clear Creek	1997	3	41	170	62	69	V	0,80	0,80	30	30	89+83 F
166	Shuangxi	Kina	Meixihe	1997	91	55	221	113	172	V	0,80	0,76	30	30	90+110 F
167	Cadiangullong	Australija	Cadiangullong	1997	4	43	356	114	123	V	0,75	0,75	30	30	90+90 F

Rbr.	Ime brane	Država	Reka	God. izgrad.	Zap. akum. (10 <sup>6</sup> m <sup>3</sup> )	Visina (m)	Dužina u kruni (m)	Zap. RCC-a (10 <sup>3</sup> m <sup>3</sup> )	Ukupna zap.	Nagib uzv.	Nagib nizv.	Nagib preliva	Debljina razastiranja	Debljina stoejva	C+FA (kg/m <sup>3</sup> )
168	Shibanshui	Kina	Longhe	1997	105	83	461	335	571	V	0,65	0,65	30	100	60+90 F
169	Taolinkou	Kina	Qinglonghe	1997	859	75	501	585	700	V-0,15	0,78	0,65	30	30	135+70 F
170	Rio do Peixe	Brazil	Do Peixe	1997	2	20	300	20	34	V	0,80	0,80	30	30	120+0
171	Belo Jardim	Brazil	Ipojuca	1997	37	43	420	81	93	/	/	/	30	30	67+17 P
172	Moncion (HF)	Dominik. Republika	Mao	1998	8	20	254	130	155	0,70	0,67	0,80	30	30	80+0
173	Bouhouda	Maroko	Sraa	1998	56	60	173	198	218	0,20	0,80	0,80	30	30	110+0
174	Hayachine	Japan	Hienuki	1998	17	74	333	141	325	V-0,20	0,76	0,76	25	75	84+36 F
175	Salto Caxias	Brazil	Iguacu	1998	3600	68	1082	912	1438	V	0,75	0,75	30	30	80+20 F
176	Val de Serra	Brazil	Ibicui-Mirim	1998	24	37	675	69	95	V	/	/	30	30	60+30 F
177	Gassan	Japan	Bonji	1998	65	123	393	731	1160	V	0,80	0,80	25	75-100	91+39 F
178	Penn Forest	SAD	Wild Creek	1998	2	49	610	283	283	V	0,50	ispust	30	30	58+41 F
179	Yongxi III	Kina	Nanxi	1998	69	87	198	170	240	V	0,73	0,73	28	300	80+90 F
180	Jucazinho	Brazil	Capiibaribe	1998	286	63	442	472	500	V	0,75	0,75	30	30	64+16 P
181	Rialb	Španija	Segre	1998	402	99	630	980	1016	0,35	0,65	0,65	33	33	65+130 F
182	Huatan	Kina	Yunhe	1998	824	85	173	240	290	0,20	0,80	0,80	30-40	30-40	74+90 F
183	Bab Louta	Maroko	Bousebaa	1999	37	54	110	45	50	V	0,75	0,75	30	30	65+15 P
184	Fenhe II	Kina	Fenhe	1999	130	88	228	362	448	V-0,20	0,75	0,75	30	30	127+84 F
185	Jiangya	Kina	Loushui	1999	1741	131	327	1100	1340	V	0,80	0,80	30	300	87+107 F
186	Songyue	Kina	Hailanhe	1999	21	30	271	44	77	V	0,73	ispust	30	200	80+100 F
187	Toker	Eritreja	Toker	1999	14	73	263	187	210	V	0,80	0,80	33	33	110+85 F
188	Changshun	Kina	Yujiang	1999	68	63	279	170	208	V	0,74	0,80	30	500	134+89 F
189	Balambano	Indonezije	Larona	1999	31	99	351	546	546	V	0,80	0,80	42	42	81+54 F
190	Bertarello	Brazil	Arroio Burati	1999	6	29	210	60	70	V	/	/	30	30	72+18 P
191	Ziga	Burkina Faso	Nakambe	1999	28	18	120	44	/	V	0,80	0,80	30	30	/
192	Baishi	Kina	Dalinghe	1999	100	50	523	111	503	V-0,10	0,70	0,76	30	30	72+58 F
193	Rosal	Brazil	Itabapoana	1999	/	37	212	45	75	/	/	/	30	30	30+40 Z

R.br.	Ime brane	Država	Reka	God. izgrad.	Zap. akum. (10 <sup>6</sup> m <sup>3</sup> )	Visina (m)	Dužina u kruni (m)	Zap. RCC-a (10 <sup>3</sup> m <sup>3</sup> )	Ukupna zap.	Nagib uzv.	Nagib nizv.	Nagib preliiva	Debljina razastiranjia	Debljina slojeva	C+FA (kg/m <sup>3</sup> )
194	Sucati	Turska	Guredin	1999	9	36	192	55	60	V	0,80	0,80	30	30	50+100 Z
195	Debris	SAD	Bernard Creek	1999	/	18	46	3	3	V	/	/	30	30	108+84 F
196	Hongpo (AG)	Kina	Shalanghe	1999	3	55	244	71	77	V	0,50	0,50	30	300	54+99 F
197	Nagashima (HF)	Japan	Obi	1999	1	33	127	23	55	1,20	1,20	/	25	50-75	40+50 Z
198	Las Blancas	Meksiko	Alomo & Soso	1999	124	28	2795	221	316	V	V-0,75	0,75	30	30	100+100 F
199	Ponto Novo	Brazil	Itapicuru-Acu	1999	39	26	266	90	105	/	/	/	30	30	80+20 P
200	Guilman-Amorin	Brazil	Piracicaba	1999	12	41	143	23	72	/	/	/	/	/	80+20 P
201	Bullard Creek	SAD	Bullard Creek	1999	1	16	110	7	7	V	V-0,75	0,75	30	30	148+44 /
202	Gaobashou	Kina	Qingjiang	2000	430	57	188	702	798	V	0,75	0,75	30	30	123+100 F
203	Kubusugawa	Japan	Kubusu	2000	11	95	253	277	472	V-0,40	0,78	0,78	25	75	84+36 F
204	Ohnagami	Japan	Sutu	2000	19	72	334	284	355	V-0,25	0,79	0,79	25	75	84+36 F
205	Trout Creek	SAD	Trout Creek	2000	1	31	38	9	10	V	0,80	0,80	30	30	163+0
206	Beni Haroun	Alžir	El Kebir	2000	963	118	714	1690	1900	V	0,80	0,80	30	30	82+143 F
207	Origawa	Japan	Ori	2000	16	114	328	406	695	V-0,60	0,77	0,77	25	75	91+39 F
208	Shin-Miyaka	Japan	Miya	2000	10	68	325	393	480	V	0,83	0,83	25	75	91+39 F
209	Pajarito Canyon	SAD	Pajarito	2000	8	36	112	48	48	V	1,0	ispust	30	30	148+0
210	Porce II	Kolumbija	Porce	2000	211	123	425	1305	1445	0,10	0,35	0,75	30	30	132+88 P
211	Tucuruí II faza	Brazil	Tocantins	2000	/	78	1541	76	8800	/	/	ispust	30	30	70+30 P
212	Inyaka	J. Afrika	Marite	2000	123	53	350	160	310	V	0,68	0,68	25	25	60+120 F
213	Franciska	Brazil	Jacui	2000	335	63	670	485	665	/	/	/	30	30	72+18 P
214	Ueno	Japan	Jinryu	2000	19	120	350	269	720	V-0,30	0,84	0,84	20	100	77+33 F
215	Tannur	Jordan	Wadi al Hasa	2000	17	60	270	250	250	V-1,00	0,80	0,80	30	120	125+75 P
216	Santa Cruz do Apodi	Brazil	/	2000	/	58	1660	1023	/	/	/	/	/	/	/
217	Bureiskya	Rusija	/	2000	/	144	714	/	1000	V	0,75	/	/	/	120

R.br.	Ime brane	Država	Reka	God. izgrad.	Zap. akumul. (10 <sup>6</sup> m <sup>3</sup> )	Visina (m)	Dužina u kruni (m)	Zap. RCC-a (10 <sup>3</sup> m <sup>3</sup> )	Ukupna zap.	Nagib uzv.	Nagib nizv.	Nagib preliva	Debljina razastiranja	Debljina slojeva	C+FA (kg/m <sup>3</sup> )
218	Pie Pol	Iran	Karkeh	2000	29	15	300	130	270	/	/	preliv	30	30	130+0
219	Shankou III	Kina	Duanshui	2001	47	57	179	106	127	V	0,75	0,80	33	300	95+95 F
220	R'mil	Tunis	R'mil	2001	44	18	260	64	160	V	0,90	0,90	30	30	100+0
221	Shapai (A)	Kina	Caopoh	2001	18	129	250	365	392	V-0,10	0,21	preliv	30	30	115+77 F
222	Longshou (A)	Kina	Heihe	2001	13	80	217	190	260	V-0,20	0,75	0,75	30	300	96+109 F
223	Shimenzi (A)	Kina	Taxihe	2001	50	109	176	188	215	0,14	V	preliv	30	300	90+110 F
224	North Fork Hughes River	SAD	North Fork Hughes	2001	1480	26	200	65	65	V	/	/	30	30	59+59 F
225	Dachaoshan	Kina	Lancangjiang	2001	940	111	467	757	1127	V-0,20	0,70	0,70	30	30	94+94 P
226	Chubetu	Japan	Chubetu	2001	93	86	290	495	980	V-0,80	0,80	0,80	25	75-100	84+36 F
227	Cana Brava	Brazil	Tocantins	2001	/	65	510	550	770	/	/	preliv	30	30	45+55 Z
228	Mianhuatan	Kina	Dingjiang	2001	204	111	310	540	640	V	0,75	0,70	30	300	82+100 F
229	Castanhao	Brazil	Congonhas	2001	800	60	668	890	1030	/	/	/	/	/	85+0
230	Lajeado	Brazil	Tocantins	2001	/	43	2100	210	1330	/	/	/	30	30	40+50 Z
231	Umari	Brazil	/	2001	/	42	2308	655	/	/	/	/	/	/	70+0
232	Estreito	Brazil	Riacho Poco Comprido	2001	/	22	300	12	15	/	/	/	/	/	64+16 P
233	Helong	Kina	Hailianhe	2002	30	30	244	43	72	V	0,75	preliv	30	200	70+80 F
234	Mae Suai	Tajland	Mae Suai	2002	73	59	340	300	350	0,15	0,80	0,80	30	30	/
235	Hunting Run	SAD	Hunting Run	2002	2	25	720	105	105	V	/	/	30	30	74+37 F
236	Penas Blancas	Kostarika	Penas Blancas	2002	2	48	211	120	170	V	0,80	0,80	30	30	90+35 P
237	Miel I	Kolumbija	La Miel	2002	565	188	345	1669	1730	V	0,75-1,00	0,75-1,00	30	30	85-150+0
238	La Canada	Bolivija	Comarapa	2002	10	52	154	72	77	V	0,75	0,75	30,5	30,5	140+100 P

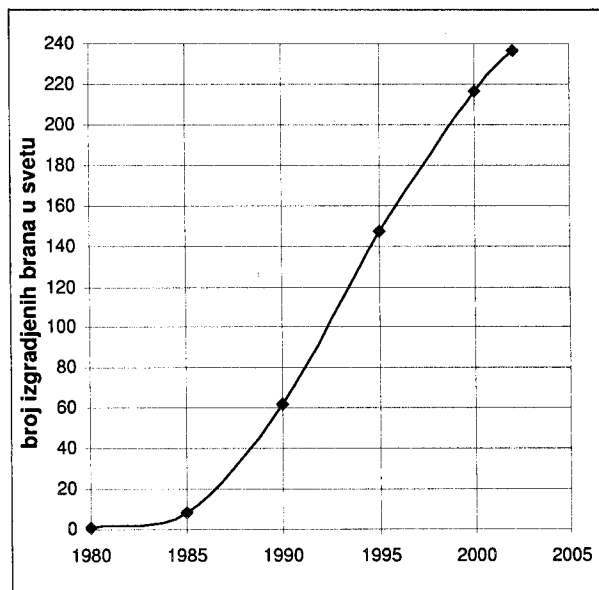
Na kraju pregleda istorijskog razvoja brana od valjanog betona treba pomenuti i **branu Willow Creak u Oregonu (SAD) završenu 1982. godine**, kao prvu branu koja je izgrađena praktično kompletno od RCC-a. Visina ove brane je 52,0 m, zapremina 331.000 m<sup>3</sup>.

Pojavom valjanog betona i njegovom uspešnom primenom na prvim branama, ohrabreni su brojni građitelji širom sveta i najavljene velike mogućnosti gravitacionih brana od valjanog betona. To je dalo novi impuls izgradnji betonskih brana čije se učešće u ukupnom broju izgrađenih brana u svetu smanjilo sa 35% na oko 17% u periodu od 1950. do 1980. godine. Uzrok tome bili su viša cena u odnosu na nasute brane i strožiji zahtevi u pogledu kvaliteta hidrotehničkog betona.

Sledile su brane: **Copperfield** (Australija, 1984. godina, 40 m visoka, 140.000 m<sup>3</sup> valjanog betona od ukupno 156.000 m<sup>3</sup> betona), **Middle Fork** (SAD, 1984., 38 m, 42.000 m<sup>3</sup> od 43.000 m<sup>3</sup>), **Winchester** (SAD, 1984., 23 m, 24.500 m<sup>3</sup> od 27.000 m<sup>3</sup>), **Gallesville** (SAD, 1985., 50 m, 161.000 m<sup>3</sup> od 171.000 m<sup>3</sup>) **Castilblanco** (Španija, 1985., 25 m, 14.000 m<sup>3</sup> od 20.000 m<sup>3</sup>), itd. U izgradnji brana otpočela je era valjanog betona...

Na osnovu istraživanja Dunstan-a, [15], i svim ostalim podacima koji su autoru bili dostupni, do kraja 2002. godine u svetu je izgrađeno ukupno 238 brana od valjanog betona koje su visoke 15 m, ili više. Spisak svih ovih brana sa osnovnim podacima dat je u tabeli 1. Poređane su hronološki prema redosledu završetka dela konstrukcije od valjanog betona. Sve brane su gravitacionog tipa, izuzev onih kod kojih stoje oznake (A), (AG) ili (HF), tj. lučne, lučno-gravitacione i "hardfil", respektivno. U poslednjoj koloni dati su podaci o količinama i vrstama cementnih materijala (portland cement i dodatak pucolana). Pri tome se podrazumeva da pucolan može biti F, P ili Z, što redom označava elektrofilterski pepeo ("fly ash"), prirodni pucolan i zguru.

Interesantno je uočiti porast broja brana od valjanog betona u funkciji vremena. U periodu od 1980. do 1987. godine stidljivo, prosečno po nekoliko brana godišnje, da bi u poslednjih 15 godina nastao pravi bum, slika 1. Veliki broj ovih brana širom sveta je u fazi građenja ili projektovanja, tako da se sa sigurnošću može reći da se trend nastavlja.



Slika 1. Porast broja brana od valjanog betona od 1980. do 2002.

Uparedo sa povećanjem broja brana, povećavale su se i dimenzije. U početku su prosečne građevinske visine bile od 40 do 50 m, a prosečne zapremine ugrađenog valjanog betona između 100.000 i 200.000 m<sup>3</sup>. Danas prosečna građevinska visina iznosi oko 70 m, a prosečna zapremina ugrađenog RCC-a 410.000 m<sup>3</sup>. Još su impozantnije prosečne veličine projektovanih brana i brana u izgradnji: prosečna visina je 89 m, a prosečna zapremina RCC-a čak 865.000 m<sup>3</sup>.

Najviša do sada izgrađena brana od valjanog betona je **Miel I** u Kolumbiji visoka 188 m; na drugom mestu je **Urayama** (Japan, 156 m), sledi **Miyagase** (Japan, 155 m), **Bureiskya** (Rusija, 144 m), **Jiangya** (Kina, 131 m), itd.

Prema zapremini ugrađenog valjanog betona, redosled brana je sledeći: **Beni Haroun** (Alžir, 1.690.000 m<sup>3</sup>), zatim **Miel I** (1.669.000 m<sup>3</sup>), **Miyagase** (1.537.000 m<sup>3</sup>), **Porce II** (Kolumbija, 1.305.000 m<sup>3</sup>), **Urayama** (1.294.000 m<sup>3</sup>), itd.

Ako se poredi dužine u kruni izgrađenih RCC brana najduža je **Las Blancas** (Meksiko, 2795 m); od drugog do petog mesta su brane u Brazilu: **Umari** (2.308 m), potom **Lajeado** (2.100 m), pa **Santa Cruz do Apodi** (1.660 m) i **Tucurui II** (1.541 m)...

Zanimljivo je posmatrati i količinu upotrebljenih cementnih materijala. U početku razvoja brana od valjanog betona najčešće su bile "posne" mešavine ("lean RCC") sa manje od  $100 \text{ kg/m}^3$  cementa i pucolana. Kasnije su jedno vreme uglavnom građene brane sa više od  $150 \text{ kg/m}^3$  ("masne" mešavine), da bi se potom količina cementnih materijala prilagodila konkretnim terenskim uslovima i karakteristikama raspoloživih materijala tako da danas postoji veliki broj brana sa raznovrsnim sadržajem cementa i pucolana u mešavini valjanog betona:

- 1) masne mešavine (više od  $150 \text{ kg/m}^3$ );
- 2) srednje mešavine (između  $100$  i  $150 \text{ kg/m}^3$ );
- 3) posne mešavine (manje od  $100 \text{ kg/m}^3$ );
- 4) japanske RCD brane.

### 3. ISKUSTVA VODEĆIH ZEMALJA U OBLASTI BRANA OD VALJANOG BETONA

Kao što se pažljivim pregledom tabele 1. može uočiti, do kraja 1986. godine u svetu je bilo izgrađeno 16 brana i to u 7 država: Japan, SAD, Australija, Južna Afrika, Kina i Brazil. Ohrabreni prvim pozitivnim iskustvima inženjeri iz ovih zemalja nastavljaju da grade RCC brane, tako da su i danas vodeće zemlje u ovoj oblasti Kina (43 izgrađene brane), Japan (39), SAD (34), Brazil (27) i Španija (22). U ovih pet zemalja izgrađeno je ukupno 165 brana od valjanog betona, što čini 70 % svih do sada izgrađenih brana ovog tipa u svetu. Slede Južna Afrika (13), Maroko (9), Australija (8), Francuska (8) i Meksiko (6) sa ukupno 44 brane, što zajedno sa branama u prethodno navedenim državama iznosi 209 brana, ili skoro 90 %. Očigledno da su brane od valjanog betona u proteklih dvadesetak godina pokazale da su po kvalitetu slične gravitacionim branama od klasičnog betona, a po ceni i brzini

građenja konkurentne čak i zemljanim branama i branama od kamenog nabačaja.

#### Kina

Izgradnja brana od valjanog betona u Kina započela nešto kasnije nego u drugim danas vodećim zemljama u ovoj oblasti, [10], [14]. Prva brana izgrađena 1986. godine (**Kengkou**, visina 57 m, dužina u kruni 123 m, zapremina RCC-a  $43.000 \text{ m}^3$ ), zatim je usledila dvogodišnja pauza, da bi 1989. godine bilo završeno 5 brana. Od tada pa do danas, u Kini se svake godine u proseku izgrade po tri brane od valjanog betona.

Najviša kineska RCC brana je **Jiangya** (131 m), a prosečna visina svih brana od valjanog betona iznosi 68 m, tabela 1.2. Ako se posmatra zapremina ugrađenog RCC-a, u kineske brane prosečno je ugrađeno  $272.000 \text{ m}^3$ , što iznosi 66 % od ukupne zapremine ugrađenog betona (računajući i klasičan beton) koja prosečno iznosi  $410.000 \text{ m}^3$ . Na prvom mestu i prema zapremini valjanog i ukupnoj zapremini betona je brana **Guanyinge** sa  $1.240.000 \text{ m}^3$  RCC-a od ukupno  $1.970.000 \text{ m}^3$  betona.

Što se tiče količine cementnih materijala po jedinici zapremine, kineske brane prosečno sadrže  $83 \text{ kg/m}^3$  cementa i  $93 \text{ kg/m}^3$  pucolana, tj. u proseku ukupno  $176 \text{ kg/m}^3$ , tabela 3, što znači da pucolan prosečno čini 53 % od sadržaja cementnih materijala. Maksimalna količina cementa ( $135 \text{ kg/m}^3$ ) upotrebljena je na brani **Taolinkou** (75 m) cementa uz dodatak  $70 \text{ kg/m}^3$  pucolana. Najveća količina pucolana, kao i najveća ukupna količina cementnih materijala u kineskim branama upotrebljena je za branu **Rongdi** (53 m) u iznosu od  $140 \text{ kg/m}^3$  pucolana od ukupno  $230 \text{ kg/m}^3$  cementnih materijala.

Tabela 2. Dimenzije RCC brana u vodećim zemljama

Država	Broj brana	Visina (m)		Zapremina RCC-a ( $10^3 \text{ m}^3$ )		Ukupna zapremina ( $10^3 \text{ m}^3$ )	
		prosečna	max	prosečna	max	prosečna	max
Kina	43	68	131	272	1240	410	1970
Japan	39	87	156	361	1537	577	2001
SAD	34	35	91	114	1125	126	1281
Brazil	27	46	95	273	1023	688	8800
Španija	22	47	99	142	980	166	1016

#### Japan

Japanske brane od valjanog betona poznate su po RCD (Roller Compacted Concrete for Dams) metodi, [3], [13]. U svetskim razmerama Japan se može pohvaliti

prvom izgrađenom branom od valjanog betona - **Shimajigawa** (1980.), drugom i trećom branom po visini - **Urayama** (156 m) i **Miyagase** (155 m), trećim i petim mestom po količini ugrađenog valjanog betona - **Miyagase** ( $1.537.000 \text{ m}^3$ ) i **Urayama** ( $1.294.000 \text{ m}^3$ ).

Prosečna visina japanskih brana od valjanog betona je 87 m; prosečna količina ugrađenog valjanog betona iznosi 361.000 m<sup>3</sup> od ukupno 577.000 m<sup>3</sup> betona, što znači da je u proseku zapremina valjanog u odnosu na ukupnu prosečnu količinu betona u japanskim branama 62,5 %.

Sadržaj cementnih materijala u japanskim branama je ili 120, ili 130 kg/m<sup>3</sup> betona, a prosečno učešće pucolana iznosi 29 %. Samo kod dve brane korišćeno je 110 kg/m<sup>3</sup> cementa i pucolana (Chiya i Ueno). Pri tome, po pravilu, 120 kg/m<sup>3</sup> koristi se za brane visine do 100 m, a 130 kg/m<sup>3</sup> za brane više od 100 m. Kao što se može uočiti, u Japanu je građenje brana od valjanog betona u velikoj meri standardizovano, što predstavlja osnovnu odliku RCD metode.

### SAD

Brojni radovi svedoče o velikom doprinosu koje su SAD dale u početnim istraživanjima o valjanom betonu, njegovim karakteristikama i tehnologiji građenja. U Americi je izgrađena druga brana na svetu od valjanog betona - **Willow Creak**, koja istovremeno predstavlja prvu branu u kojoj celokupnu zapreminu čini valjani beton. Za američke brane od valjanog betona karakteristično je da u proseku nisu tako visoke kao kineske ili japanske, jer njihova prosečna visina iznosi

35 m. Međutim, prosečna zapremina ugrađenog RCC-a od 114.000 m<sup>3</sup> u odnosu na ukupnu prosečnu zapreminu betona od 126.000 m<sup>3</sup> čini čak 90,5 %! Dakle, količina klasičnog betona ugrađenog u američke RCC brane je minimalna.

Najviša brana je **Upper Stillwater** (1987., 91 m, 1.125.000 m<sup>3</sup> RCC-a od 1.281.000 m<sup>3</sup> betona ukupno) i u vreme kada je izgrađena bila je druga po visini od svih RCC brana u svetu. Istovremeno, to je i brana sa najvećom zapreminom ugrađenog valjanog betona i maksimalnom ukupnom zapreminom u SAD i znatno je veća od prosečne zapremine valjanog betona koja kod američkih brana iznosi 114.000 m<sup>3</sup> u odnosu na 126.000 m<sup>3</sup> ukupne prosečne zapremine.

Količine upotrebljenih cementnih materijala kod brana u SAD su veoma raznolike, a prosečne količine iznose: cement 90 kg/m<sup>3</sup>, pucolan 48 kg/m<sup>3</sup>, ukupno 139 kg/m<sup>3</sup>. Znači, učešće pucolana u proseku iznosi 35 %. Poredeći prosečnu količinu cementnih materijala kod američkih brana može se uočiti da je manja nego kod kineskih (176 kg/m<sup>3</sup>), a veća nego kod japanskih (121 kg/m<sup>3</sup>). Maksimalna količina cementa od 184 kg/m<sup>3</sup> (bez dodatka pucolana) upotrebljena je na brani **Rocky Gulch**, a najveća količina pucolana (173 kg/m<sup>3</sup>) i najveća ukupna količina cementnih materijala (252 kg/m<sup>3</sup>) na brani **Upper Stillwater**.

Tabela 3. Upotreba cementnih materijala u vodećim zemljama

Država	Broj brana	Cement (kg/m <sup>3</sup> )		Pucolan (kg/m <sup>3</sup> )		Ukupno (kg/m <sup>3</sup> )	
		prosečno	max	prosečno	max	prosečno	max
Kina	43*	83	115	93	140	176	230
Japan	39	86	96	35,5	78	121	130
SAD	34	90	184	48	173	139	252
Brazil	27*	68	120	18	55	86	120
Španija	22	73	90	129	170	202	240

\* Nepoznati podaci za jednu kinesku i dve brazilske brane

### Brazil

Prva brana od valjanog betona u Brazilu bila je **Saco de Nova** (56 m, 132.000 m<sup>3</sup> valjanog betona od ukupno 143.000 m<sup>3</sup>), izgrađena 1986. godine, a zatim od 1990. do danas sledi još 26 brana, [7]. Najzanimljivija karakteristika brazilskih brana je da neke od njih imaju veoma veliku dužinu u kruni. Od svih najdužih svetskih RCC brana, među prvih pet četiri su u Brazilu: **Umari** (2.308 m), **Lajeado** (2.100 m), **Santa Cruz do Apodi** (1.660 m) i **Tucurui II** (1.541 m), a prosečna dužina brazilskih RCC brana je 605 m.

Najviša brazilska brana je **Jordao** (1996., 95 m, 570.000 m<sup>3</sup> RCC-a od 647.000 m<sup>3</sup>). Prosečna visina svih brana iznosi 46 m, što je niže u odnosu na japanske (87 m) i kineske (68 m), ali više od prosečne visine američkih rollcrete brana (35 m). Prosečna zapremina ugrađenog valjanog betona je 273.000 m<sup>3</sup> u odnosu na ukupnu prosečnu zapreminu od 688.000 m<sup>3</sup>, što čini svega 40 %, najmanje u odnosu na sve vodeće zemlje. Najveća količina RCC-a ugrađena je u branu **Santa Crus do Apodi** - 1.023.000 m<sup>3</sup>, a ukupna najveća količina betona u branu **Tucurui II** - 8.800.000 m<sup>3</sup>.

U pogledu količine upotrebljenih cementnih materijala, brazilske brane imaju posne mešavine sa veoma malim prosečnim vrednostima: cement  $68 \text{ kg/m}^3$ , pucolan  $18 \text{ kg/m}^3$ , ukupno  $86 \text{ kg/m}^3$ . Ovo su ubedljivo najmanje prosečne količine od svih vodećih zemalja. Maksimalna količina cementa upotrebljena je na brani **Rio de Piexe** (1997., 20 m,  $20.000 \text{ m}^3$  od  $34.000 \text{ m}^3$ ) u količini od  $120 \text{ kg/m}^3$  bez dodatka pucolana, što predstavlja i ukupnu najveću količinu cementnih materijala; maksimalna količina pucolana od  $55 \text{ kg/m}^3$  uz  $45 \text{ kg/m}^3$  cementa korišćena je na brani **Cana Brava** (2001., 65 m,  $550.000 \text{ m}^3$  od  $770.000 \text{ m}^3$ ). Učešće pucolana u proseku iznosi 21% u odnosu na ukupnu prosečnu količinu cementnih materijala.

### Španija

Izgradnja brana od valjanog betona u Španiji otpočela je 1985. godine sa branom **Erizana** (15 m,  $10.000 \text{ m}^3$  RCC-a od  $12.000 \text{ m}^3$ ). Do danas je izgrađeno ukupno 22 brane, prema čemu ova zemlja zauzima peto mesto u svetu. Najviša brana je **Rialb** (1998., 99 m,  $980.000 \text{ m}^3$  od  $1.016.000 \text{ m}^3$ ), [12].

Prosečna visina španskih brana iznosi 47 m, što je slično brazilskim branama. Prosečna količina ugrađenog valjanog betona je  $142.000 \text{ m}^3$ , a prosečna ukupna količina betona  $166.000 \text{ m}^3$ , tj. valjani beton čini u proseku oko 86 % zapremine RCC brana. Prema ovom parametru, jedino su brane u SAD ispred španskih brana. Najveća količina valjanog betona i ukupna najveća količina betona ugrađena je u branu **Rialb**.

U Španiji se u proseku koristi najviše cementnih materijala. Ukupna prosečna količina iznosi  $202 \text{ kg/m}^3$ , od čega je u proseku  $73 \text{ kg/m}^3$  cementa i  $129 \text{ kg/m}^3$  pucolana. Ovo ukazuje da španske brane imaju masne mešavine valjanog betona i da je učešće pucolana značajno (64 %). Minimalna količina cementnih materijala upotrebljena je na brani **Urdalur** (1992., 58 m,  $159.000 \text{ m}^3$  od  $208.000 \text{ m}^3$ ), znatno više nego u drugim vodećim državama.

### 4. ZAKLJUČAK

Poredeći iskustva i praksu u vodećim zemljama u izgradnji brana od valjanog betona uočava se da je prosečna upotrebljena količina cementa u mešavini slična i da iznosi od 70 do  $90 \text{ kg/m}^3$ . Velike razlike javljaju se dodavanjem pucolana. Prosečna količina pucolana u mešavini u Brazilu iznosi  $18 \text{ kg/m}^3$ , a u Španiji  $129 \text{ kg/m}^3$ .

U četiri od pomenutih pet vodećih država izdiferenciran je i usvojen sopstveni pristup i tip RCC brana koji najviše odgovara uslovima u tim zemljama. U Japanu je to RCD metoda sa relativno skupom tehnologijom, ali veoma kvalitetnim konstrukcijama koje sadrže relativno malo valjanog betona u odnosu na ukupnu zapreminu brana. Istraživanja i dosadašnja iskustva pokazala su da je ovakva tehnologija pogodna za veoma jake seizmičke uticaje koji se često javljaju. U Kini i naročito Španiji pokazalo se da masne mešavine valjanog betona sa velikom količinom pucolana obezbeđuju karakteristike brana koje najbolje odgovaraju uslovima u tim zemljama. Nasuprot Španiji i Kini, u Brazilu se koriste posne mešavine valjanog betona sa veoma malo pucolana. Međutim, i učešće valjanog betona u ukupnoj zapremini brazilskih RCC brana je u proseku veoma malo. Posebno su zanimljiva iskustva sa rollcrete brana iz SAD, jer je primenjen veliki broj različitih koncepcija projektovanja. Količina cementnih materijala varira od veoma posnih mešavina sa  $64 \text{ kg/m}^3$ , do izrazito masnih mešavina ( $252 \text{ kg/m}^3$ ) koje su slične mešavinama kod klasičnog betona. Isto tako raznolika je i količina dodatog pucolana. U nekim branama pucolan uopšte nije korišćen, dok je u drugima njegova količina i do 70 % u odnosu na ukupan sadržaj cementnih materijala.

Na osnovu svih ovih iskustava iz vodećih država u oblasti brana od valjanog betona može se uočiti da projektanti na raspolaganju imaju veliki broj različitih filozofija projektovanja koje su pokazale dobre rezultate. Potrebno je, imajući u vidu konkretne uslove, izabrati optimalnu koncepciju koja će na najbolji način iskoristiti sve prednosti primene valjanog betona. O ovome će biti reči u nastavku planirane serije članaka.

### LITERATURA

- [1] American Concrete Institute Committee 207, "Roller Compacted Concrete", Manual of Concrete Practice, ACI 207.5R-80, Detroit, 1980.
- [2] Ervin Nonveiller: "Uvaljani beton za hidrotehničke građevine", "Građevinar", broj 35, Zagreb, 1983.
- [3] Shigeyoshi Nagataki, Tsutomu Yanagida, and Tadahiko Okumura: "Construction of Recent RCD Concrete Dam Projects in Japan", Symposium on RCC, New York, 1985.
- [4] G. Lombardi: "Roller Compacted Concrete for Gravity Dams", Report to ICOLD Committee on Materials for Concrete Dams, Draft, November 1987.



- [5] French National Research Project BaCaRa: "Roller Compacted Concrete, RCC for dams", Paris, 1997.
- [6] American Concrete Institute: "Roller Compacted Mass Concrete", ACI Manual of Concrete Practice, Part 1, Materials and General Properties of Concrete, 1997.
- [7] Francisco R. Andriolo: "The Use of Roller Compacted Concrete", São Paulo-Brazil, 1997.
- [8] Ljubomir Tančev: "Brani i pridružni hidrotehnički objekti", Skopje, 1999.
- [9] D. Arizanović, B. Ivković: "Uvaljani beton", Mogografija Specijalni betoni i malteri, Građevinski fakultet Univerziteta u Beogradu, Beograd, 1999.
- [10] Shen Chonggang: "Some technical progresses and experiences in operation of Chinese RCC dams", International Symposium on RCC Dam, Chengdu, 1999.
- [11] M.R.H. Dunstan: "Latest developments in RCC dams", International Symposium on RCC Dam, Chengdu, 1999.
- [12] M. A. Franco, J. Y. Cordova, L. B. Casafont: "R.C.C. dams in Spain", International Symposium on RCC Dam, Chengdu, 1999.
- [13] K. Takahi: "History and current situation of RCD construction method in Japan", International Symposium on RCC Dam, Chengdu, 1999.
- [14] Jiazheng Pan and Jiming He: "Large Dams in China a Fifty-Year Review", China WaterPower Press, Beijing, 2000.
- [15] M.R.H. Dunstan: "RCC dams, 2002", Hydropower & Dams World Atlas, 2002.

## ROLLER COMPACTED CONCRETE (RCC) IN DAM CONSTRUCTION PART ONE - HISTORICAL DEVELOPMENT

by

Vladan KUZMANOVIĆ, Ljubodrag SAVIĆ, Bojan MILOVANOVIĆ  
Faculty of Civil Engineering, Belgrade

### Summary

This paper defines Roller Compacted Concrete (RCC) and its main features as a new building material, as well as a new construction method. Some of the leading RCC-dam builders experience is illustrated through a survey, covering main construction features of 238 dams. Based on the survey data, an overview of most important RCC dams according to the height, the volume of concrete embedded, and the length of the

crest is presented. Main features of RCC dams from China, Japan, USA, Brazil and Spain (being the most prominent countries in RCC-dam construction) are discussed in order to point out some possible concepts in RCC-dam construction.

Key words: Roller Compacted Concrete (RCC), RCC dams, concrete mixture, cementitious materials

Redigovano 26.05.2003.