

ПОЧЕЦИ ГРАВИТАЦИОНИХ БЕТОНСКИХ БРАНА (други део)

Проф. др Петар С. ПЕТРОВИЋ, дипл. грађ. инж.
Грађевински факултет Универзитета у Београду

10. БРАНА “ГОСЛИНГ КРИК” (GOSLING CREEK), АУСТРАЛИЈА, 1890.

Истовремено су завршене гравитационе бетонске бране “Биталу” (Beetaloo) и “Гослинг Крик” (Gosling Creek). Тако је 1890. године брана “Гослинг Крик” постала, по редоследу грађења, четврта гравитациона бетонска брана саграђена у Аустралији. Брана је преградила долину реке Гослинг Крик (Gosling Creek) близу града Оранџа (City of Orange), северозападно од Сиднеја (Sydney) у држави Нови Јужни Велс (New South Wales).

Брана је саграђена ради снабдевања водом за пиће града Оранџа. Касније, пошто су саграђене још две веће бране, акумулација “Гослинг Крик” служи само за рекреацију и риболов.

Слика 35, снимљена 1900. године, приказује један од ретких тренутака када се преко прелива, који се налази у продужетку гравитационе бетонске бране “Гослинг Крик”, вода преливала [23].



Слика 35. Прелив у продужетку гравитационе бетонске бране “Гослинг Крик” [23]

Брана је висока само 8 m и њена акумулација има запремину од око 650 000 m³ воде. Предвиђало се да ова акумулација буде довољна следећих 20 година. Цео систем је коштао £ 32 688.

11. БРАНА “ВИКТОРИЈА” (VICTORIA), АУСТРАЛИЈА, 1891.

После грађења гравитационих бетонских брана “Биталу” и “Гослинг Крик”, саграђена је још једна брана истог типа у Аустралији – брана “Викторија” (Victoria). Ова брана је преградила реку Манди Брук (Munday Brook) око 25 km југоисточно од Перта (Perth), Аустралија.

Брана “Викторија” је пројектована ради снабдевања водом града Перта. Саграђена је 1891. године као гравитациона бетонска брана. Постојала је тачно 100 година, јер је 1991. године замењена новом браном на истом месту и истог имена.

Стара брана “Викторија” [25] је била висока 31 m. Дужина у круни, заједно са преливом, износила је око 229 m. Површина слива реке Манди Брук до профила бране износила је 37 km². Браном је створена акумулација запремине око 900 000 m³ воде. На брани је био слободан линијски прелив капацитета 150 m³/s.

При прорачуну бране није се рачунало са узгоном и са сеизмичким утицајима. Брана је залучена, што се лепо види на слици 36 и без икаквих разделница, што се види на слици 36. На брани је у току 100 година постојања било изведено доста радова са циљем да се смањи процуривање воде, које је износило креч и стварало мале шупљине и смањивало чврстоћу бетона.

Ради смањења процуривања воде 1966. године урађене су највеће поправке: на целој узводној површини бране изведен је армирани бетон дебљине од 30 до 45 cm.

После две деценије, 1988. године, извршена је ревизија стабилности бране. Тада је утврђено да, према савременим критеријумима за поплавне таласе и сеизмичке утицаје (видети поглавља 16. и 18. из лит. [26]), брана нема задовољавајуће

кофицијенте сигурности на клизање и претурање. Бетон бране је био слабог квалитета а није постојала никаква могућност поправке, па је одлучено да се брана уклони и изгради друга брана уместо ње. То је и учињено октобра 1990. године.

Нова брана, названа по старој “Нова Викторија”, је гравитациона бетонска брана, само изведена сасвим друкчијом технологијом грађења (поглавље 33, стр. 55 из лит. [24]). Код “класичних” гравитационих бетонских брана бетон се састоји из: агрегата, портланд цемента, воде и адитива, а збијање бетона врши се путем вибрирања. Код бране “Нова Викторија” бетон се састоји из: агрегата, портланд цемента, пуцолана (пепела, згуре), воде и адитива, а збијање бетона се врши путем ваљања. То је најновија метода за уграђивање бетона, која се зове ваљани бетон или RCC (Rolled Compacted Concrete) - о овоме више у 13. поглављу ове књиге.

Стара (уклоњена) брана “Викторија”, која је личила на лучну бетонску брану без разделница, и нова гравитациона бетонска брана „Нова Викторија” је у основи праволинијска и има разделнице добијене сечењем бетона. На разделницама се налазе водонепропустљиве траке – заптивке.



Слика 36. Поглед на гравитациону бетонску брану “Викторија” [25]



Слика 37. Поглед на гравитациону бетонску брану “Нова Викторија”, саграђену 1991. године [25].



Слика 38. Поглед на целу акумулацију и гравитациону бетонску брану “Нова Викторија” [26].

Брзина грађења нове бране види се из следећег:

- почетак пројектовања бране и осталих објеката уз њу: 23.8. 1990. године;
 - почетак грађења бране, уграђивање бетона ваљањем: 11.3. 1991. године; и
 - завршетак грађења бране, уграђивање бетона ваљањем: 18.8. 1991. године.
- Завршетак целог пројекта: 16.11.1991. године.
- Грађење бране је трајало само мало више од пет месеци!

Грађевинска висина гравитационе бетонске бране “Викторија”, тј. “Нова Викторија”, износи 52 m, а дужина у круни (заједно са преливом) 285 m. Ширина круне износи 8,80 m. Узводна површина је вертикална. Низводна површина је са хоризонталним “степеницима” у просечном нагибу 1 : 0,325 за горњих 16 m и 1 : 0,80 до темеља бране.

Укупна запремина бетона бране је 134 500 m³ (нема узводну и низводну страну од тесаног камена, нити у бетону има каменова - самаца), од чега:

- бетон збијан ваљањем (тело бране) 121 000 m³; и
- бетон збијан вибрирањем (косине бране) 13500 m³.

За справљање једног кубног метра бетона бране употребљено је: 79 kg портланд цемента, 160 kg електро филтарског пепела (fly-ash), 105 kg воде, 1430 kg шљунка (крупног агрегата) и 730 kg песка (ситног агрегата).

Сливно подручје се није променило (37 km²), али је повећана висина бране (са 31 на 52 m), па сада запремина акумулације при коти нормалног успора износи 9,5·10⁶ m³ воде, а површина акумулације је око 0,77 km². При максималном успору воде површина акумулације је око 0,86 km². Преливна ивица је дужине 65 m, па за издизање воде у акумулацији за 1,10 m протицај преко прелива износи 280 m³/s.

Пројектант и власник бране је Управа за воде Западне Аустралије (Water Authority of Western Australia), а извођач радова је Болдерстоун Хорнибрук Инжењеринг (Boulderstone Hornibrook Engineering).

На слици 37 види се низводна страна бране “Нова Викторија”, на којој су уочљиви хоризонтални степеници настали као резултат прављења низводне “оплате” за ваљани бетон, затим прелив који се налази на телу бране и умирујући базен дужине

65 m. Слика 38 даје панораму целе гравитационе бетонске бране “Нова Викторија” са преливом и већи део акумулације.

12. БРАНА “МЕНЛИ” (MANLY), АУСТРАЛИЈА, 1892.

Још једна гравитациона бетонска брана је саграђена у Аустралији у 19. веку. То је брана “Менли” (Manly), која је 1892. године преградила реку Курл Курл Крик (Curl Curl Creek) на око 3 km од места Менли (Manly), сада предграђа Сиднеја (Sydney), у држави Нови Јужни Велс (New South Wales). Акумулација је служила за водоснабдевање Менлија и околине. Касније је брана и акумулација са сливним подручјем постала национални парк.

Првобитна висина бране је била 12 m. Површина слива износи 5,2 km². Запремина акумулације је била око 260 000 m³ воде. Изградња ове бране коштала је 1892. године 17 820 енглеских фунти.

Брану је пројектовало и и извело Одељење за јавне радове државе Нови Јужни Велс на челу са грађевинским инжењерима Мориартијем и Дарлејем (E.O. Moriarty и C.W. Darley).

Брана је изведена без разделница, није прорачуната на деловање узгона, нити на сеизмичке утицаје.

На слици 39 види се из близине прелив бране “Менли” када је ниво воде знатно испод круне прелива, а на слици 40 круна и део низводне стране бране. Да би били испуњени сви услови стабилности бране према тада важећим прописима у Аустралији, брана је између 1979. и 1981. године анкерована у стену темеља.

Ради снабдевања водом повећаног броја становника брана је три пута надвишавана:

- 1909. године за 0,3 m, тако да је висина бране била 12,3 m а акумулација је имала запремину од око 320 000 m³ воде;
- 1914. године за 0,5 m, тако да је висина бране била 12,8 m а акумулација је имала запремину од око 340 000 m³ воде; и
- 1922. године за 6,2 m, тако да је сада висина бране 19 m а акумулација има запремину од око 1 670 000 m³ воде; површина сливног подручја износи око 5,20 km².

Запремина бране је око 8 000 m³ бетона, а дужина круне бране је 250 m [17].



Слика 39. Поглед на гравитациону бетонску брану “Менли” [27]



Слика 40. Поглед на круну гравитационе бетонске бране “Менли” [28]

13. БРАНА “БУЧХОЛЦ“ (BUCHHOLZ), ШВАЈЦАРСКА, 1892.

Гравитациона бетонска брана „Бучхолц“ (Buchholz) преградила је реку Глат (Glatt) у близини града Госау (Gossau) кантона Санкт Гален (St. Gallen), у Швајцарској.

Брана “Бучхолц“ је саграђена 1892. године са малом хидроелектраном ради снабдевања електричном енергијом. Хидроелектрана је престала са радом

после десетак година јер је акумулација била до половине испуњена наносом. Више од 90 година су брана са хидроелектраном биле заборављене као да уопште не постоје [29]. Иако је „Бучхолц“ висока гравитациона бетонска брана, она се не помиње у лит. [17], а нема је у списку швајцарских брана (The Development of Dam Engineering in Switzerland, [8]) из 1985. године. У ери захтева за обновљивом енергијом, хидроелектрана “Бучхолц“ поново је стављена у функцију, тако што је саграђена нова прибранска хидроелектрана и рибаља стаза.



Слика 41. Поглед на гравитациону бетонску брану „Бучхолц“ на слици десно, а на слици лево је прелив (са Интернета, File 060929 KW Buchholz 001)

Гравитациона бетонска брана “Бучхолц” има грађевинску висину од 19 m и дужину у круни од 48 m (слика 41). Површина акумулације је око 0,05 km², а дужина акумулације износи око 600 m. Запремина акумулације износи 250 000 m³ воде, док је површина слива близу 38,6 km² [29].

14. БРАНА „ОСТИН“ (AUSTIN), ТЕКСАС, СЈЕДИЊЕНЕ АМЕРИЧКЕ ДРЖАВЕ, 1893.

Пред крај деветнаестог века граде се многобројне мање бране широм Сједињених Америчких Држава. Једна од таквих је и гравитациона бетонска брана „Остин“ (Austin), која је саграђена у држави Тексас (Texas) ради снабдевања водом за пиће, електричном и механичком енергијом престонице Остин (Austin). Брана је завршена 2. маја 1893. године; преградила је реку Колорадо (Colorado) на око три километра узводно од старог града Остина. На слици 42 се види брана неколико дана пре завршетка свих радова.

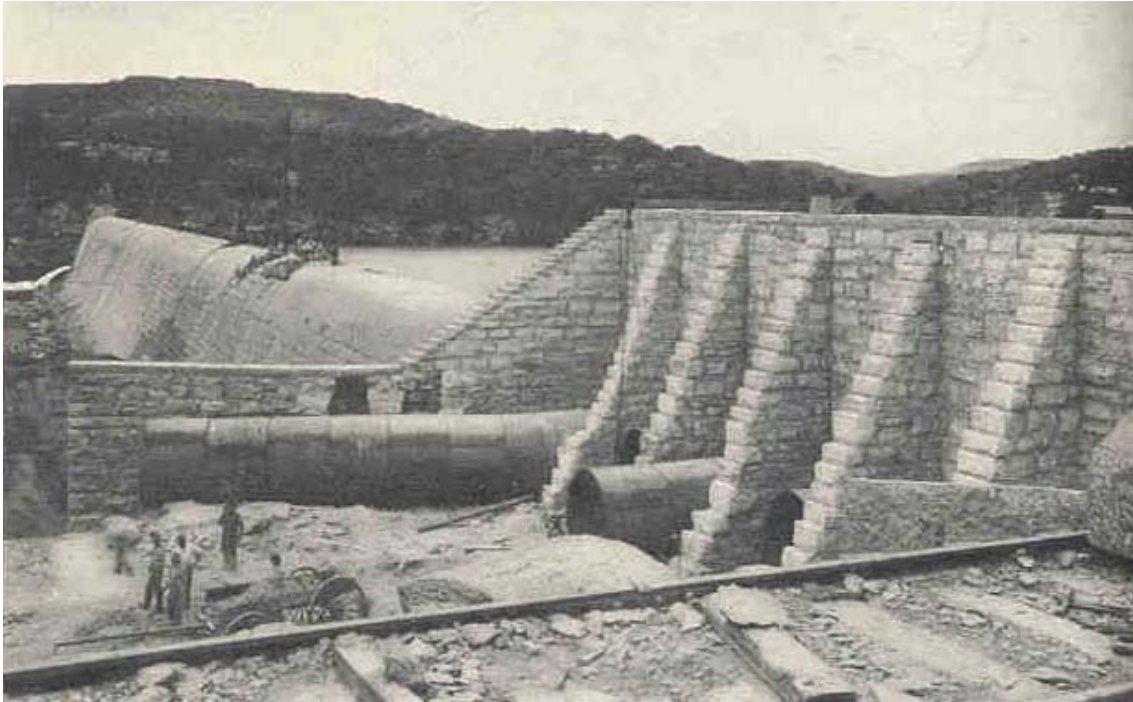
Гравитациона бетонска брана “Остин” је имала грађевинску висину од 18,3 m и дужину у круни од 366 m. У круни је била ширине 4,9 m, а при дну од 15,3 m. Контура бране је озидана гранитним блоковима који су служили као оплата бетону са

агрегатом од кречњака. У средњем делу бране се налазио слободан прелив (слика 42) ширине око 300 m. Круна прелива је нижа за 4,9 m од круне бране, па је брана рачуната на притисак воде до коте круне бране. Није познато која су све оптерећења и утицаји узети у статичком прорачуну [30].

На левој страни бране налазила се рибља стаза и уз саму брану хидроелектрана. Брана је створила акумулацију („језеро МекДоналд“) која је била дугачка око 40 km и широка до 800 m. Поред бране се наталожио нанос до половине висине бране, на који брана није рачуната.

Брана је темељена на слојевитом кречњаку са прослојцима глине. Очигледно да то није био добар темељ за бетонску брану. Није се ни у току грађења придавао значај тој чињеници. Игнорисани су геолошки услови темељења, а и хидрологија није била поуздана, јер се рачунало да протицај преко прелива неће бити већи од 7100 m³/s.

Главни пројектант целог објекта и у току грађења надзорни инжењер, био је грађевински инжењер Фризел (J.R. Frizzell), док је саветник пројекта био грађевински инжењер Фанинг (T.J. Fanning). Џемс (Schuivier Dix James) је био фотограф.



Слика 42. Прелив бране „Остин“ непосредно пре завршетка свих радова (фото James D.)



Слика 43. Поглед на делове прелива гравитационе бетонске бране „Остин“ неколико дана пошто је прошао поплазни талас који је 7. 4. 1900. године порушио брану и хидроектрану. (фото James D.)

У сливу Колорада је априла 1900. године два дана падала киша великог интензитета. Формирао се поплазни талас. Река Колорадо је порасла скоро 18 m(!).

У Остину је падала киша 6. априла од 4³⁰ изјутра до јутра 7. априла. Специјално постављени посматрачи

крај бране видели су воду која се преливала преко целе бране, око 340 cm изнад круне бране. Око 11²⁰ брана је пукла на више места, а два огромна комада дужине од око 75 m, померена су низводно за око 18 m(!). Затим је покуљао нанос. Услед наглог повећање нивоа воде, вода је продрла у

хидроелектрану. Прелив је срушен на дужини од 200 m. Кроз брешу је поплазни талас усмртио осам људи и поплавио је зграде и сеоска имања.

На слици 43 се виде делови прелива бране неколико дана пошто је прошао поплазни талас. Остин је дуго времена био без осветлења и воде за пиће.

Узрок рушења гравитационе бетонске бране „Остин“ је клизање бране због великих хоризонталних сила на које није брана статички рачуната. То су пре свега додатне хоризонталне силе од наноса и воде (високи водостај).

Са изградњом нове бране требало је да се одмах почне. Одлучено је да се поправи стара брана, изгради мост преко прелива и 57 табластих затварача од дрвета, како би се помоћу њих контролисао поплазни талас. То је све и урађено, и брана “Остин” је завршена 1912. године на истом месту на коме се налазила стара брана. Само три године касније, 1915. године, нови поплазни талас је знатно оштетио брану [31]. На слици 44 се види брана „Остин“ („МкДоналд“) из 1915. године са поплазним таласом који пролази преко прелива, прелив са стубовима, мостом и таблатим уставама.

Почевши од 1915. године, када је први пут оштећена брана „Мек Доналд“ („Остин“), на брани су стално вршене поправке и уграђивани су нови материјали. Али, и поред тога, брана није могла да спречи поплаве, посебно оне које су се догодиле 1935, 1936 и 1937. године. Због тога је градска управа одлучила да се направи нова брана.

Нова брана је такође гравитациона бетонска. Зове се “Том Милер” (Tom Miller), а акумулација се зове “језеро Остин”. Грађење бране почело је 1938. године, а завршено је 1940. године на месту претходних брана. Сада је имала скоро два пута већу грађевинску висину - 30,6 m и дужину у круни од 485 m. Ширина при дну је 47 m. На брани се налазе два прелива: на десној страни је слободан прелив без стубова и моста, а на левој страни је прелив са сегментним уставама и мостом. Ови преливи се виде на слици 45.

Нова гравитациона бетонска брана “Том Милер” саграђена је тако да не буде више поплава низводно од бране, и да се град Остин снабдева електричном енергијом. У ту сврху направљена је нова хидроелектрана на левој обали са два агрегата инсталисане снаге 17,3 MW.



Слика 44. Друга гравитациона бетонска брана “Остин” је саграђена на месту бране из 1893. године. Изграђен је мост преко прелива и 57 табластих затварача од дрвета (Интернет, History of Tom Miller Dam)



Слика 45. Поглед на нову брану „Том Милер“ која је саграђена на месту старих брана. На њој се види слободан прелив и прелив са сегментним уставама

15. БРАНА “ТИРЛМИР” (THIRLMERE), ВЕЛИКА БРИТАНИЈА, 1894.

По редоследу грађења трећа гравитациона бетонска брана саграђена у Великој Британији била је брана “Тирлмир” (Thirlmere). Изграђена је преко потока Светог Џона (St. John’s Beck), близу града Кесвика (Keswick) у грофовији Камберленд (Cumberland), која се назива “Енглеска област језера” (English Lake District). Град Манчестер (Manchester) и околна насеља нису имали довољно пијаће воде, па су одлучили да је доведу што пре, чак и са велике даљине. Изабрано је место за акумулацију удаљено око 160 km од Манчестера, па је 1890. године је отпочело грађење, а 1894. године је завршена брана. Када је низак водостај у акумулацији “Тирлмир”, тада се виде два мала језера међусобно спојена узаним каналом.

Погодна топографија преградног профила омогућила је пројектанту да одвоји прелив од тела бране, тако да је то прва гравитациона бетонска брана код које прелив није у продужетку тела бране, а ни на телу бране. То се лепо види на слици 46, на

којој се виде и акумулација и праволинијски прелив са залученом гравитационом бетонском браном “Тирлмир”.

На слици 47 се види затварачница водозахватне грађевине, која се налази између прелива и бране. Низводна страна гравитационе бетонске бране “Тирлмир” је приказана на слици 48 и на њој се виде тесани камени блокови. Брана је саграђена тако да су јој узводна и низводна страна зидане тесаним каменом, а између њих је језгро испуњено бетоном у који су убачени велики комади необрађеног камена [32].

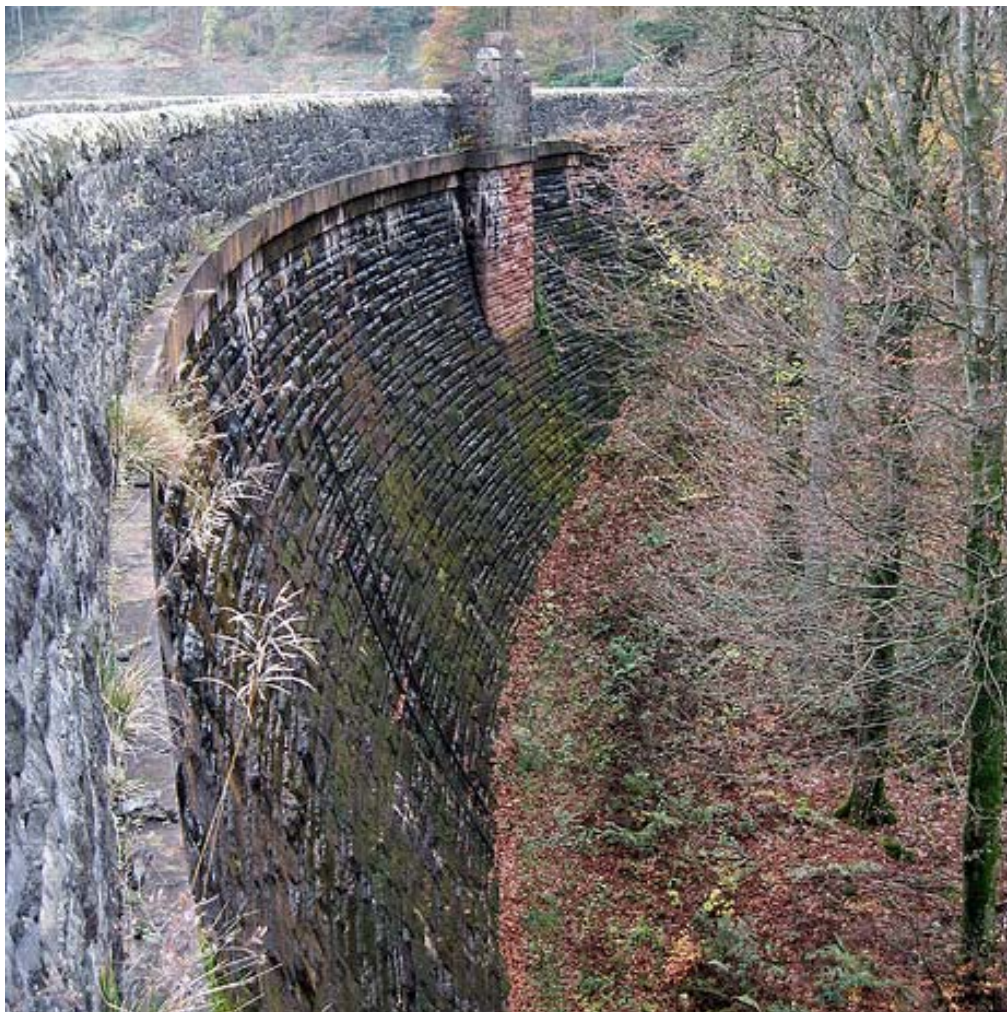
Мада је вода из два мала језера: Вода Литис (Leathes Water) и Витбурн Вода (Wythburn Water), која су после грађења бране „Тирлмир“ лежала на дну акумулације (читавих 15 m испод коте успора будуће акумулације), била добра за пиће, количински је била исувише мала за град Манчестер са околним насељима. И поток Светог Џона, на коме је саграђена брана, а који је „пролазио“ и кроз два мала језера, имао је добру воду за пиће.



Слика 46. Поглед на праволинијски прелив и залучену гравитациону бетонску брану “Тирлмир” [32]



Слика 47. Затварачница водозахватне грађевине и гравитациона бетонска брана “Тирлмир” [32]



Слика 48. приказује гравитациону бетонску брану “Тирлмир” [32]

Преостало је да се изградњом бране заштити цело сливно подручје. То је и учињено. Град Манчестер је откупио целокупну површину сливног подручја од $44,50 \text{ km}^2$, а $9,5 \text{ km}^2$ је пошумљено четинрским дрвећем.

Грађевинска висина бране износи $20,1 \text{ m}$, а дужина у круни $261,7 \text{ m}$. У круни је дебљина $5,50 \text{ m}$. У њу је укупно уграђено $27 000 \text{ m}^3$ камена и бетона. Акумулација има запремину од око $40,58 \cdot 10^6 \text{ m}^3$ воде и површину од око $3,2 \text{ km}^2$. Површина слива износи око $44,50 \text{ km}^2$. Подаци су претежно узети из лит. [17] и [32].

Пројектант гравитационе бетонске бране “Тирлмир” је био грађевински инжењер Ђорђе Хенри Хил (George Henry Hill), а извођење је поверено

компанији „Морисон и Месон“ (Morrison and Mason) из Глазгова (Glasgow).

16. БРАНА “БЕТУНГРА” (BETHUNGRA), АУСТРАЛИЈА, 1895.

Брана “Бетунгра” (Bethungra) је седма по реду гравитациона бетонска брана саграђена у деветнаестом веку у Аустралији. Брана је преградила долину реке Вандали Бенгл Крик (Wandaly Bengle Creek) близу града Џуни (Junee) у држави Нови Јужни Велс (New South Wales).

Гравитациона бетонска брана “Бетунгра” има грађевинску висину од 13 m и дужину у круни од 161 m . Површина њене акумулације износи $0,1465 \text{ km}^2$, а запремина воде у њој је око $580 000 \text{ m}^3$.



Слика 49. Низводна страна гравитационе бетонске бране „Бетунгра“ [33]

Пропусна моћ прелива је око $120 \text{ m}^3/\text{s}$. Подаци су узети из лит. [17] и [33].

Акумулација бране „Бетунгра“ је направљена ради снабдевања водом за пиће града Џуни са околином, а нарочито села Бетунгра (Bethungra), које се налази непосредно низводно од бране. Све до 1906. године вода из акумулације је служила за пиће. Тада је примећено да вода није добра за пиће, и више није употребљавана за то, па је акумулација служила само за рекреацију и спортска такмичења. Сливно подручје, осим површине коју заузима сама акумулација, је у приватном поседу, па се становници Бетунгре у сливном подручју баве пољопривредом, не ретко заливају њиве водом из акумулације.

На слици 49 приказан је изглед низводне стране гравитационе бетонске бране „Бетунгра“. На њој се види скоро цела низводна страна бране.

Невоље становника Бетунгре су и са акумулацијом и са самом браном. У акумулацији је 1993. године примећено „цветање плаво-зелених алги“ (blue green algae bloom), које се повећало 2000. године, тако да је забрањена и рекреација. Случај са браном је много озбиљнији. Пошто брана није статички рачуната на узгон, а ни сеизмичке утицаје онако како садашњи прописи траже, разне комисије су утврдиле да брана није сигурна на смицање и претурање, и да је треба срушити или само уклонити

горњих 2,90 m. У овом другом случају површина акумулације би се смањила за 75%.

Да би се упозорило становништво у случају опасности од пролома бране, 2002. године је инсталиран уређај за узбуђивање.

До маја 2010. године није донета одлука о томе да ли срушити брану или јој смањити висину.

17. БРАНА “ПЕРИЈАР” (PERIYAR), ИНДИЈА, 1895.

Прва индијска гравитациона бетонска брана је саграђена 1895. године. То је брана која има три имена: “Мула Перијар”, “Мулаперијар” или само “Перијар” (Mulla Periyar, Mullaperiyar, Periyar), која је преградила реку Перијар (Periyar) непосредно низводно од ушћа њене притоке реке Мулајар (Mullayar), близу града Кумили (Kumily) у области Текади (Thekkadi) округа Индуки (Indukki), у индијској држави Керала (Kerala), на југу Индије.

Индија је била колонија Велике Британије - “Индијско царство под британском круном” од 1878. године. Британска краљица Викторија била је и царица Индије. У разним облицима Британци су владали Индијом све до 1947. године. Те године је Индија добила статус британског доминиона и обећана јој је независност ако и муслимани могу да створе посебну државу.

То се догодило већ 1949. године: Некадашње “Индијско царство” је подељено на независне републике: будистичку државу Индију (Индијска унија) и муслиманску државу Пакистан (Западни Пакистан и Источни Пакистан). Већ 1971. године Источни Пакистан постаје Бангладеш, а Западни Пакистан је задржао своје име Пакистан. Од 1972. године је Цејлон постао независна држава Шри Ланка. Тако су од једне државе на верској основи настале четири државе.

Крајем осамнаестог века је Индијац Прадам Мутирулапа Рамнад (Pra-dam Muthirulappa Ramnad) предлагао да се део воде из реке Перијар, која је текла ка западу уливајући се у Индијски океан (Арапско море) пребаци у реку Ваигаи (Vaigai), која је текла на исток и такође се уливала у Индијски океан, али у Бенгалски залив. Разлог је веома прост: између сливова ових река налази се планински ланац који се пружа правцем север – југ. Ветрови који дувају од Арапског мора доносе кишне облаци, који изручују кишу у западном делу (Перијар), тако да за источни део (Ваигаи) остаје 2-3 пута мање кише. А тај део има доста равнице погодне за многе културе, само ако има довољно воде.

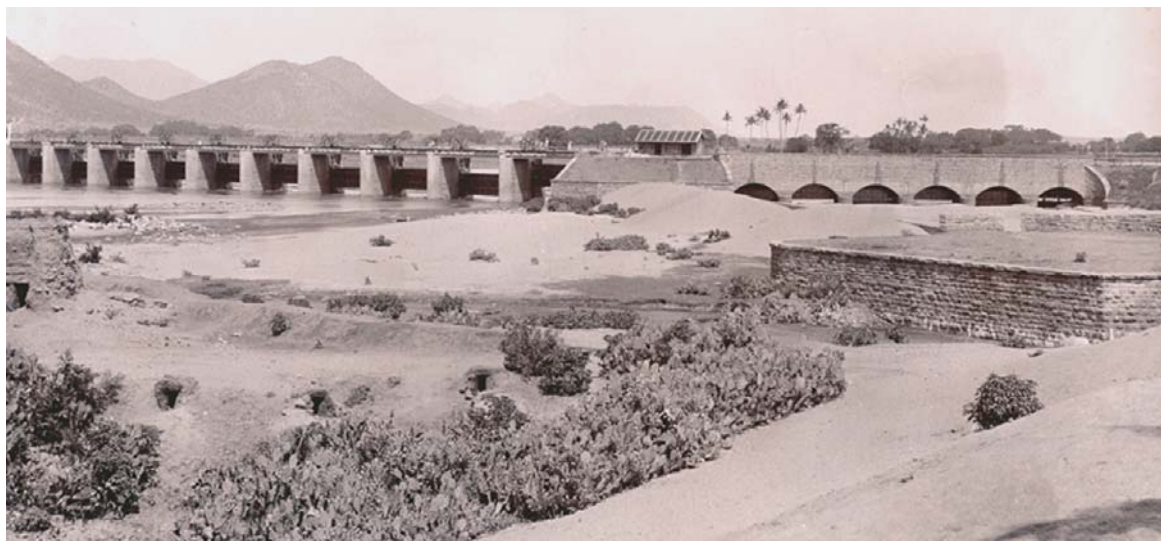
У том циљу Британци су изградили прву брану од земље, коју су однеле велике воде у монсонском периоду. Пројектовање и грађење нове бране и тунела којим ће се одводити део вода у слив реке Ваигаи трајао је десет година, од 1885. до 1895. године.

Владар државе Траванкором (Travancore), у чијем је саставу било подручје будуће бране и акумулације, под притиском Британаца, потписује 1886. године документ којим изнајмљује држави Мадрас (Madras) то подручје (земљиште уз брану, акумулацију и део слива око акумулације, све заједно око 32 km² или 8000 акри) на 999 година (!) за суму од 40 000 рупија годишње (5 рупија по једном акру). На тај начин се овим документом Британцима даје сва вода (“all the waters”) из слива и акумулације Перијар.

На слици 50 се види брана “Перијар” са низводне стране, ближе левој обали. На слици 51 се види зграда затварачнице и леви део бране са целом круном левог дела бране.

По добијању независности, у Индији су настале нове државе. Тако је сливно подручје, акумулација и брана “Перијар” остало у држави Керала, у округу Идуки (Idukki district), али је, према уговору из 1886. године, нова држава Тамил Наду воду одводила за своје потребе (наводњавање земљишта у округу Мадурџа (Madurai district)).

На састанку одржаном 1970. године владе обеју земаља су ставиле ван снаге споразум потписан 1886. године и потписале су нов документ који је, углавном, остао исти као претходни, с тим што је предвиђено да држава Тамил Наду може да користи воду и за производњу електричне енергије (то је држава Тамил Наду радила од 1959. године без икаквог споразума) и надокнада је повећана на 280 000 рупија годишње.



Слика 50. Приказује низводну страну гравитационе бетонске бране “Перијар” [34]

Брана “Перијар” има грађевинску висину од 54 m и дужину у круни од 378 m. У њу је уграђено 141 000 m³ бетона и камена. Акумулација служи за наводњавање у државама Керала и Тамил Наду (Tamil Nadu) и има запремину од 444·10⁶ m³ воде [35]. Тек су сателитским снимцима (сливно подручје је дунгла) утврђене површине акумулације при појединим kotaма. Тако, површина акумулације при максималном водостају од 152 стопе (то је хидрауличка висина бране (видети 1. поглавље, страна 6 ове књиге) износи 25,527 km², док при коти круне прелива (136 стопа) износи 14,308 km².

Пројектант је био грађевински инжењер Џон Пенниквик (John Pennycuik), а у току грађења је био на челу “Инжењерског корпуса британске армије”, који је градио све објекте уз физичку помоћ Индијаца.

Гравитациона бетонска брана “Перијар” није у потпуности грађена онако како су се крајем деветнаестог века градиле такве бране у британским колонијама. Код ове бране су узводна и низводна страна зидане необрађеним каменом у кречном малтеру. Између страна бране је уграђиван

масиван бетон (са увезеним портланд цементом као везивом) са крупним комадима необрађеног камена – пешчара и кречњака са продуженим малтером.

Брана “Перијар” је стара брана. Из ње стално излази креч. Није рачуната на узгон и сеизмичке утицаје. Угрожена је њена стабилност. Због тога мора да се држи ниво воде у акумулацији на коти круне прелива (136 стопа, затварачи дигнути). То су аргументи државе Керала, која још додаје и следеће: Уколико би дошло до пролома бране “Перијар”, може да буде угрожена брана “Идуки”, јер би се вода из акумулације “Перијар” сручила у акумулацију бране “Идуки”. С обзиром на то да при пуној акумулацији прелив ове бране не би могао да пропусти ту воду, и поред ретензије, вода у акумулацији бране “Идуки” би се толико издигла да би дошло и до њеног пролома. Тада би била поплављена три округа државе Керала. Држава Тамил Наду, која се стара о брани, тражи сагласност државе Керала да се затварачи спусте и одржава ниво воде на коти 142 стопе. Прихвата аргументе државе Керала. Можда ће извршити санацију бране, можда ће се градити нова брана. Спор траје скоро три деценије, а брана је већ “напунила” 115 година.



Слика 51. Приказује узводну леву страну са круном гравитационе бетонске бране “Перијар” [35]

18. БРАНА “ДУМАРЕСК” (DUMARESQ), АУСТРАЛИЈА, 1897.

Осма (и последња) аустралијска гравитациона бетонска брана саграђена у деветнаестом веку је “Думареск” (Dumaresq). Брана је 1897. године преградила поток Думареск Крик (Dumaresq Creek) на око 8 km северно од града Армидале (Armidale) у држави Нови Јужни Велс (New South Wales).

Већ 1890. године, иако је имао свега 2000 становника, град Армидале на истоку Аустралије, није имао довољно пијаће воде, па је управа града одлучила да се вода нађе што пре. Прво је ископан дубок бунар великог пречника. Кад је бунар пресушио, није остало ништа друго до да се потражи решење са водом из акумулације, што се тада увелико примењивало у Аустралији.

Шеф Одсека за луке и реке дошао је септембра 1894. године у Армидале и извршио је нека испитивања дуж потока Думареск Крик. На основу тих испитивања инжењери из градског Одсека за јавне радове су одредили на коме месту ће бити будућа брана. Вероватно су тада почели са пројектовањем, тако да су већ 1895. године имали и цену по којој ће бити изграђени објекти (брана, цевовод и прихватни резервоар). Најзад је и парламент државе Нови Јужни Велс одобрио новац за изградњу бране и довода воде до града. Тако су радови могли да

отпочну. Исте године (1895.) су почели радови на уклањању дрвећа, пањева и хумуса са места будуће бране и акумулације. Отпочео је ископ за темељ бране.

Али, већ априла 1896. године радови су обустављени. Предузимач је раскинуо уговор о изградњи бране, оставио је на градилишту машине и материјал и напустио је градилиште. Вероватно је то учинио јер није успео да прави и уграђује бетон онако како је захтевано, па је, према уговору, све што је било на градилишту морао да остави инвеститору. Ово је учинио због тога што би, да је наставио са радовима, сигурно банкротирао.

На слици 52 је приказана низводна лева страна бране.

Инвеститор није ни тражио новог предузимача, већ је грађење бране наставио у сопственој режији, тј. брану и остале радове је завршио Градски одсек за јавне радове [37].

Тако је гравитациона бетонска брана “Думареск” завршена до краја августа 1897. године. Грађевинска висина бране је 12 m, а дужина у круни је 19 m. Тада је запремина акумулације била око 440 000 m³ воде. За 45 година (мерења из 1940. године) постојања, акумулација је смањена за само 4 % (!).



Слика 52. Поглед на гравитациону бетонску брану “Думареск” [36]

19. БРАНА “БУРАТОР” (BURRATOR), ВЕЛИКА БРИТАНИЈА, 1898.

Трећа по редоследу грађења гравитационих бетонских брана у Великој Британији је саграђена 1898. године. То је била брана “**Буратор**” (Burator), која је преградила реку Миви (Meavy) на око 25 km од града Плимута (Plymouth) у грофовији Девон (Devon). Брана са акумулацијом је саграђена искључиво за снабдевање пијаћом водом Плимута са околином.

Каналом дугачким око 30 km, ископаном још 1589. године, у Плимут је доведена вода из горњег тока реке Миви. Канал је 1871. године обложен гранитним плочама. Зиме 1891. године заледило се око 16 km канала, па је требало потражити сигурнији начин снабдевања водом. Грађевински инжењер Сандеман (Edward Sandeman) је 8. децембра 1891. године предложио да се Плимут снабдева водом за пиће из будуће акумулације „Буратор“ и допрема у град цевоводом. Брана је брана је требало да се гради у кланцу Буратор. Изграђена је и мала земљана брана „Шипстор“ (Sheepstor), тако да су те две бране задовољавале потребе за водом Плимута са околином за 25 година.

По завршеном пројектовању, 9. јуна 1893. године је објављена лицитација за изградњу бране, а већ су 9. августа 1893. године отпочели радови, који су трајали пет година. Гравитациона бетонска брана „Буратор“ је завршена 21. септембра 1898. године.

На узводној и низводној страни бране бетон је обложен обрађеним гранитом.

Откуп земљишта сливног подручја завршен је тек 1916. године, и од тада је Плимут имао потпуно чисту и нефилтрирану воду за пиће.

Сливно подручје реке Мили узводно од бране “Буратор” је откупила Корпорација Плимута, тако да није било других приватних поседа на њему и град је употребљавао само чисту воду. У зиму 1917. године језеро “Буратор” је било прекривено ледом дебљине 25 cm (!), али је дотицај воде у градски резервоар био непрекидан. То се догодило више пута.

На слици 53 се виде: део акумулације, круна и низводна страна са преливом гравитационе бетонске бране “Буратор”, а на слици 54 - како прелив ради при пуној акумулацији.



Слика 54. Поглед на низводну страну гравитационе бетонске бране “Буратор” кад прелив ради [38]

Када је саграђена, гравитациона бетонска брана "Буратор" имала је висину на коти дна речног корита од 23,5 m и дужину у круни од око 110 m. Дебљина тела бране у круни била је 5,5 m, а при коти дна речног корита 18,9 m. При коти нормалног успора запремина акумулације је била око $3\ 060 \cdot 10^6$ m³ воде. Површина сливног подручја износи око 21,7 km². Брана је коштала ондашњих фунти 102 000 [40].

Ни ова брана није рачуната на сеизмичке утицаје. Не постоје разделнице. У подножју бране је слапиште.

Пројектанту бране Едварду Сандеману (1862-1959) је поверено пројектовање и надзор над извођењем радова на повећању висине бране "Буратор" за три

метра и мале бране "Шипстор" такође за три метра. Саобраћај преко бране "Буратор", док брана није надвишена, био измештен, тако да је ишао преко привременог viseћег моста низводно од бране. Радови на надвишењу брана су започели децембра 1923. године. Трајали су пет година и завршени су 12. септембра 1928. године. Тако је запремина акумулације повећана за око 1 600 00 m³ воде.

Брана „Буратор“ после надвишења има грађевинску висину од 35 m и дужину у круни од око 137 m. У њу је уграђено око 32 000 m³ бетона. Површина акумулације на коти нормалног успора износи око 0,607 km², и при тој коти укупна запремина акумулације је око $4,672 \cdot 10^6$ m³ воде. Површина сливног подручја је непромењена - износи око 21,7 km² [17] и [41].



Слика 55. Виде се свих пет преливних поља и масивни лучни мост преко њих [39]

20. БРАНА “НУНОБИКИ” (NUNOBIKI), ЈАПАН, 1900.

Јапан је априла 1900. године изградио своју прву гравитациону бетонску брану која је добила име по долини у којој се налази, “Нунобики” (Nunobiki). Брана је преградила реку Икута (Ikuta) недалеко од града Кобеа (Kobe). Саграђена је ради снабдевања пијаћом водом града Кобеа. Брана “Нунобики” је грађена као и остале бране тог времена: језгро од бетона а узводна и низводна страна од камена (прва јапанска гравитациона брана зидана каменом саграђена је тек 1903. године!). До 1900. године Јапан је био прва земља на свету по укупном броју изграђених високих брана – преко 500, и све су, сем једне, биле од земље.

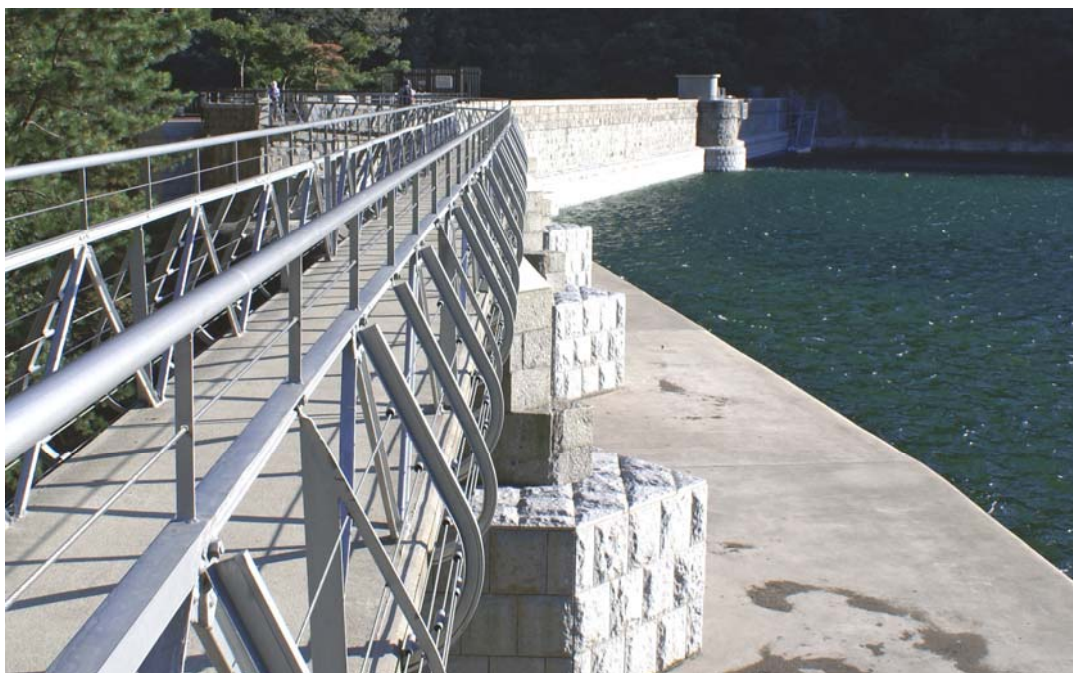
Брана је рачуната на узгон и сеизмичке утицаје, али нема разделнице. Гравитациона бетонска брана “Нунобики” није претрпела никакво оштећење ни у

току последњег разорног земљотреса (јануар 1995. године), иако није срачуната на сеизмичке утицаје по савременим прописима. На слици 56 се види цела низводна страна бране, а на слици 57 се виде заједно део прелива и цела узводна страна бране, осим оне која је под водом или или у даљини у сенци. У првом плану је пешачки мост преко прелива. На преливу не постоје никакве уставе. На слици 58 је низводна страна бране “Нунобики” са базеном у који су улазиле воде из три дренаже испод бране.

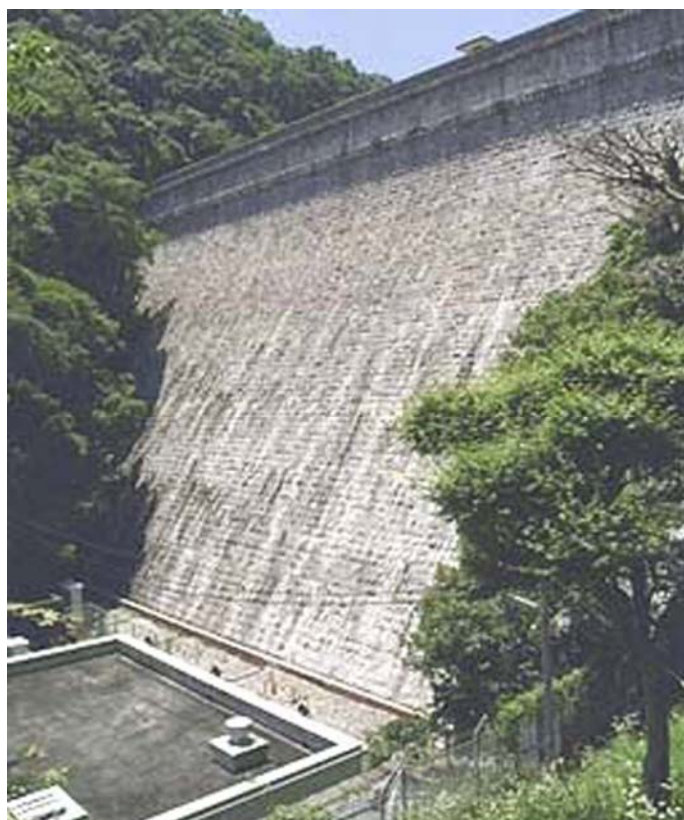
Брана “Нунобики” има грађевинску висину од 33 m, а дужину у круни око 110 m. У њу је уграђено око 22 000 m³ бетона. Запремина акумулације је око 0,772·10⁶ m³ воде, а капацитет прелива је око 778 m³/s [17]. Током времена вода је спирала земљиште и уносила је велику количину наноса, тако да сада акумулација, уместо 772 000 m³ воде, нема ни 420 000 m³ воде [45].



Слика 56. Поглед на гравитациону бетонску брану “Нунобики” [42]



Слика 57. Поглед гравитациону бетонску брану “Нунобики”. Виде се прелив и мост преко прелива [43]



Слика 58. Прелив гравитационе бетонске бране “Нунобики” и слапиште [44]

21. БРАНА “ГИБСЕНЗИ ОСТ” (GÜBSENSEE OST), ШВАЈЦАРСКА, 1900.

У Швајцарској је саграђена и прва и последња гравитациона бетонска брана у деветнаестом веку. Грађење гравитационе бетонске бране “Гибсензи Ост” (Gübsensee Ost) почело је 1898. године на источној страни истоимене акумулације коју чине долине речица Ситер и Урнаш (Sitter и Urnäsch). Брана је саграђена је 1900. године близу града Св. Галена (St. Gallen) у Швајцарској.

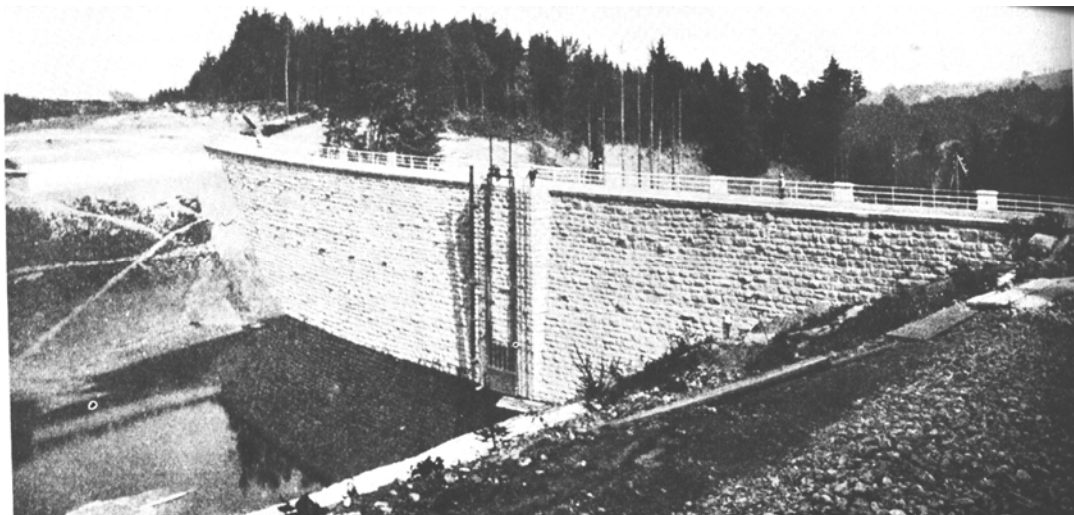
Узводна страна гравитационе бетонске бране “Гибсензи Ост” се види на слици 59 у време када је акумулација била празна. Узводна и низводна страна бране су зидане са тесаним каменом, а између њих, у средини, налазио се бетон у који су убачени велики комади необрађеног камена. Ово је прва акумулација воде у Швајцарској која је направљена искључиво ради производње електричне енергије.

Брана “Гибсензи Ост” има грађевинску висину од 23,5 m и дужину у круни 105 m. Ширина у круни износи 3,00 m, а при најнижем темељу 15,20 m. У њу је уграђено око 9 500 m³ бетона. Површина акумулације износи око 0,17 km², а запремина је 1,5·10⁶ m³ воде. Површина сливног подручја је 0,68 km². Површински прелив је у продужетку бране, на левој обали, и пројектован је за 10 m³/s воде, [46].

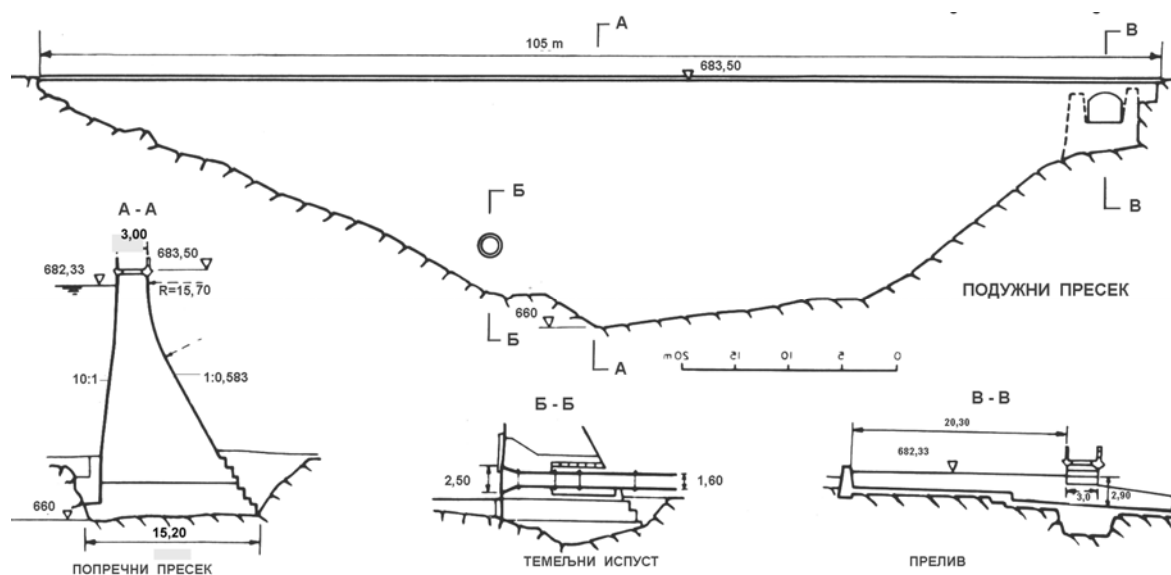
Да буде сигурна при деловању узгона и сеизмичких утицаја, 80 година касније гравитациона бетонска брана “Гибсензи Ост” је анкерована у средишњем делу са по два анкера на размаку од 1,5 m по дужини бране, а при крајевима са једним анкером на 3 m по дужини бране. Преднапрезање је извршено силом од 1150 kN по анкеру.

У последњој деценији деветнаестог века грађење гравитационих бетонских брана полако преузима примат над бранама зиданим са каменом. Све више камен служи као оплата или се убацује у малтер или бетон. Изграђене су бројне бране, највише за водоснабдевање и производњу електричне енергије. Ретко су биле више од 20 m, а акумулације иза њих су биле запремине не веће од 2 000 000 m³ воде. За бране су коришћени хидролошки подаци за мали број година. Хидрологија је била неразвијена, па су многе од њих биле срушене или су им касније грађени нови преливи. Узгон и сеизмички утицаји били су најслабије тачке у прорачунима њихове стабилности.

До краја деветнаестог века укупно седам брана могу се са правом назвати гравитационим бетонским бранама, а све остале су направљене од камена убаченог у бетон или у цементни малтер са портланд цементом као везивом. Ове последње се често називају гравитационим бранама од зиданог камена, што је погрешно.



Слика 59. Поглед на гравитационе бетонске бране “Гибсензи Ост” [46]



Слика 60. Подужни пресек гравитационе бетонске бране “Гибсензи Ост“, и пресеци: А-А је попречни пресек кроз брану, Б-Б је подужни пресек кроз темељни испуст и В-В је подужни пресек кроз прелив [46]

ЛИТЕРАТУРА

- [17] ICOLD: World Register of Dams 1973, Paris 1973.
- [20] Jerome M. Raphael: Concrete Gravity Dams у књизи Development of Dam Engineering in the United State, Pergamon press, New York, 1988.
- [23] Интернет: History of Orange Water Supply
- [24] Петар С. Петровић: Хидротехничке конструкције, трећи део – бране, Грађевински факултет Универзитета у Београду и “Grafo-comm”, Београд; 2000. Садржи поглавља од 33 до 37.
- [25] Malcolm Dunstan & associates: Projects, New Victoria Dam, на Интернету.
- [26] Петар С. Петровић: Хидротехничке конструкције, први део, Грађевински факултет Универзитета у Београду и “Grafo-comm”, Београд; прво издање 1992. а друго издање 1997. Садржи поглавља од 1 до 18.
- [27] Интернет: Warringah Council – Manly Dam
- [28] Интернет: Walk Sydney Streets Photo – North 06
- [29] Интернет: Structurae, Buchholz Dam
- [30] Интернет: TheAustin, Texas, Dam.
- [31] Интернет: History of Tom Miller Dam.
- [32] Интернет: The Hodder and Thirlmere Aqueduct Access Gates.
- [33] Интернет: Dam Safety Committee (Australia), Annual Report 2002|2003
- [34] Интернет: Periyar System headworks, Wikipedia
- [35] Интернет: Periyar Dam efforts to draw more will continue, Wikipedia
- [36] Интернет: wetNET: Barriers to successful restoration
- [37] Интернет: Water and Sewerage, (Dumaresq dam)
- [38] Интернет: Burrator Reservoir Dam Face, Dartmoor
- [39] Интернет: 40077186SMSSHY_PB
- [40] Интернет: Engineering Timeline, Burrator Dam
- [41] Интернет: Burrator, the Beginning
- [42] Интернет: Nunobiki Dam, 06bs3200
- [43] Интернет: Nunobiki Dam 02s3200 (Media Category “Nunobiki Dam”)
- [44] Интернет: Nunobiki Dam 03s3200 (Media Category “Nunobiki Dam”)
- [45] Интернет: АУИСК, IV. Water Resource Management of Kobe City
- [46] Swiss dams: Monitoring and Maintenance, Swiss National Committee on Large Dams: Zurich, 1985.

ГРАВИТАЦИОНЕ БЕТОНСКЕ БРАНЕ САГРАЂЕНЕ ДО 1900. ГОДИНЕ

по ре- ду	година завр- шетка	д р ж а в а	име бране на српском (на енглеском)	Б р а н а			запремина акумулације (m ³)
				грађев. висина (m)	дужина у круни (m)	запремина бетона (m ³)	
1	1872	Швајцарска	Мегрож (Перол)	21	95	32 000	1 000 000
	1909		Maigrauge-(Pérolles)	23,75	195	34 000	400 000
	1994		надвишење 3 m нов прелив, инјектир.	23,75	195	34 000	400 000
2	1873	СједињенеАмери- чке Државе	Бојдс Корнер	23,75	204	191 000	6 400 000
	1990		(Boyds Corner) нова брана	23,75	204		6 400 000
3	1873	Аустралија	Лоуер Стони Крик (Lower Stony Creek)	23,8	198		640 000
4	1881	Велика Британија	Абејстед (Abbeystead)	13,7	133		840 000
5	1888	Хонг Конг (Кина)	Апер Таи Там	27,5	122		580 000
	1897		(Upper Tai Tam) Надвишење 12,5m	40	146		1 650 000
6	1888	Аустралија	Брутон Пас (Broughton Pass Weir)	6	100		50 000
7	1889	Велика Британија	Вирнви Vurnwy	44,2	357,5	199 000	59 700 000
8	1890	Сједињене. Америчке Државе	Лоуер Кристал Спрингс	45			
	1911		(Lower Crystal Springs) Надвишење 2 m	47	194	120 200	56 200 000
9	1890	Аустралија	Биталу (Beetaloo)	37	179	43 400	3 680 000
10	1890	Аустралија	Гослинг (Gosling)	8			650 000
11	1891	Аустралија	Викторија Victoria	31	229	?	900 000
	1991		Нова Викторија	52	285	134 500	9 500 000
12	1892	Аустралија	Менли (Manly)	12,0		?	260 000
	1909		надвишење 0,3 m	12,3			340 000
	1914		надвишење 0,5 m	12,8			360 000
	1922		Надвишење 6,2 m	19,0	255	8 000	1 670 000
13	1892	Швајцарска	Бучхолц (Buchholz)	19	48		250 000
14	1893	Сједињ. меричке Државе, Тексас	Остин (Austin)	18,3	366		
	1915			18,3	366		
	1940		Том Милер	30,6	485		
15	1894	Велика Британија	Тирлмир (Thirlmere)	20,1	261	27 000	40 580 000
16	1895	Аустралија	Бетунгра Bethungta	13	161	?	580 000
17	1895	Индија	Перијар (Periyar)	54	378	141 000	444 000 000
18	1897	Аустралија	Думареск (Dumaresq)	12	19		440 000
19	1898	Велика Бри танија	Буратор Burrator	32			3 070 000
	1928		надвишење	35	137	32 000	4 670 000
20	1900	Јапан	Нунобики (Nunobiki)	33	110	22 000	770 000
21	1900	Швајцарска	Гибсензи Ост (Gübsensee Ost)	23,5	105	9 500	1 500 000

BEGINNING OF CONCRETE GRAVITY DAMS
(part two)

by

Professor Petar S. PETROVIĆ, C. E. PhD
University of Belgrade
Faculty of Civil Engineering

Summary

Although, according to current knowledge, the first dams were constructed of earth, sand and stone about five thousand years ago, the first concrete gravity dam was built in just 139 years ago. The number of dams being built is increasing. It is assumed that there are more than 500 thousand dams in the world today, of which more than 45 000 are large dams.

The beginning of the theory of elasticity and giving instructions for the design and calculation of masonry stone dams, were in the nineteen century. During this time debates were made about the stresses, but not about the deformations. Uplift was introduced as a load, but this was not the case with load due to horizontal earthquake acceleration.

In this paper, in two parts, for the first time in the literature, basic information about the beginnings of concrete gravity dams constructed with Portland cement as a binder are presented. The paper covers the period until 1900 with a brief description and photos of 21 dams, the author of this article could find in the literature.

Key words: dam, portland cement, stone, concrete gravity dam, Maigrauge (Pérolles), Boyds Corner, Lower Stony Creek, Abbeystead, Tai Tam Upper, Broughton Pass Weir, Vyrnwy, Lower Crystal Springs, Beetaloo, Gosling Creek, Victoria, Manly, Buchholz, Austin, Thirlmere, Bethungra, Periyar, Dumarresq, Burrator, Nunobiki, Gübsensee Ost.

Редиговано 30.07.2012.