

IZRADA UZVODNIH I NIZVODNIH LICA BRANA OD UVALJANOG BETONA

Sažetak

U ovome radu dat je kratak prikaz različitih metoda oblikovanja lica brana od uvaljanog betona:

- * primjena obloge od klasičnog betona iza oplata na uzvodnom vertikalnom licu,
- * primjena rubnjaka ili obložnih elemenata,
- * primjena prefabriciranih betonskih panela i blokova,
- * primjena zemljanih ili kamenih bankina i
- * primjena neoblikovanih lica.

Ključne riječi: uvaljani beton, sustavi oblikovanja lica brana

CONSTRUCTION OF UPSTREAM AND DOWNSTREAM FACES OF THE RCC DAMS

Summary

In this paper a short review of various methods of forming of the concrete facing of the RCC dams:

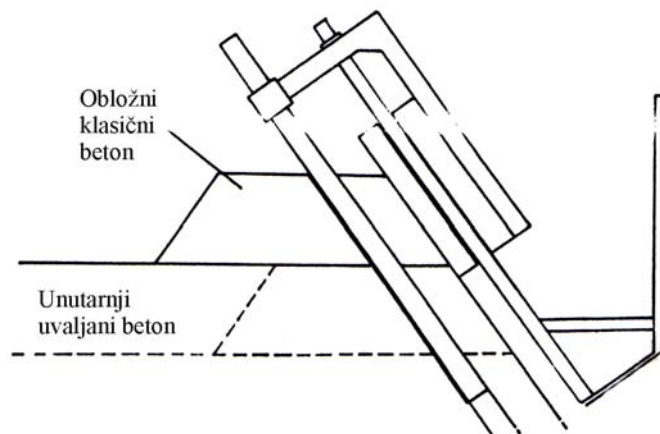
- * use of formed conventional concrete facing in the upstream face,
- * use of slipformed interlocking facing elements,
- * use of precast concrete panels,
- * use of earth- or rockfill shoulders, and
- * unformed faces.

Key words: RCC (Roller Compacted Concrete), Facing Systems for RCC Dams

1. OBLOGA OD KLASIČNOG BETONA IZA OPLATE

Zbog veće brzine građenja tehnologijom uvaljanog betona (UB), bilo koji metoda izrade uzvodnih i nizvodnih lica mora biti u stanju pratiti tu visoku brzinu napredovanja. Nošenje oplasnog sustava može biti problematično. Zbog male starosti prethodne etaže obložnog betona, konzolna oplata treba dodatno podupiranje. Uspješno su korištena 2 metoda:

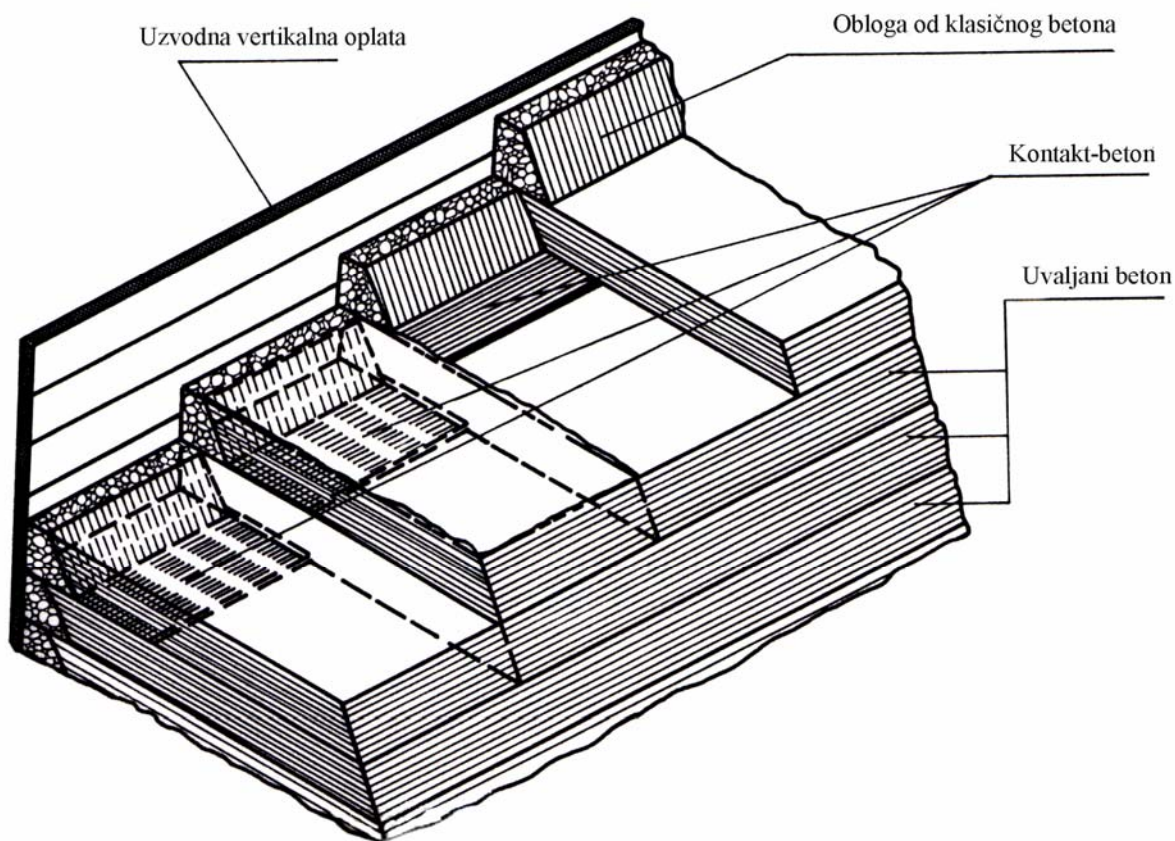
- polaganje ankera između etaža uvaljanog betona, ili
- korištenje cijevi ugrađene u prethodne 2-3 etaže iz kojih je oplata poduprta. Cijev se povlači pri podizanju brane, ostavljajući drenažnu rupu. Ovo je korišteno kao oplata na nizvodnom preljevnom licu brane *Copperfield* (Australija).



Slika 1. Detalj konzolne oplata na brani *Copperfield* (Australija)

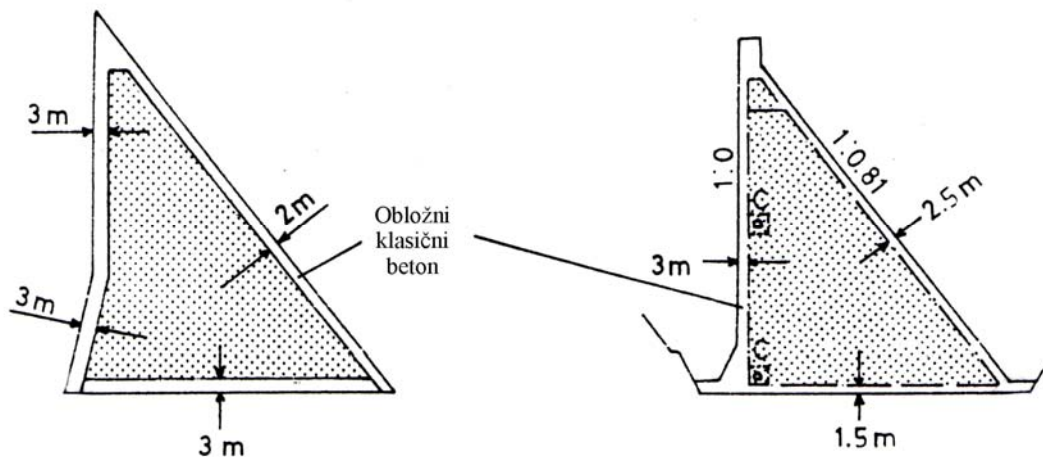
Optimalna debljina etaže je cca. 30 cm za sve brane od uvaljanog betona, osim japanskih RCD-brana. Ako je brzina podizanja brane jedna etaža dnevno, obložni beton se obično ugrađuje prije unutarnjeg betona i kao posljednji se vibrira. Ako je brzina izgradnje dvije etaže dnevno, obložni beton se ugrađuje poslije prve etaže, a prije druge etaže.

Osim toga, primjena klasične oplata postaje ograničavajući činitelj blizu vrha brane, zbog velikog broja operacija koji mora biti napravljen, što može biti u suprotnosti s ugradbom unutarnjeg uvaljanog betona. Ova metoda korištena je za izradu nizvodnog preljevnog lica na brani *Copperfield* (Australija), uzvodnog i nizvodnog lica na brani *Middle Fork* (SAD), uzvodnog lica na brani *Galesville* (SAD), kao i većine RCD-brana u Japanu. Debljina obložnog betona je varirala i iznosila za američke brane od 45 do 90 cm, za etaže od uvaljanog betona debljine 30 cm.



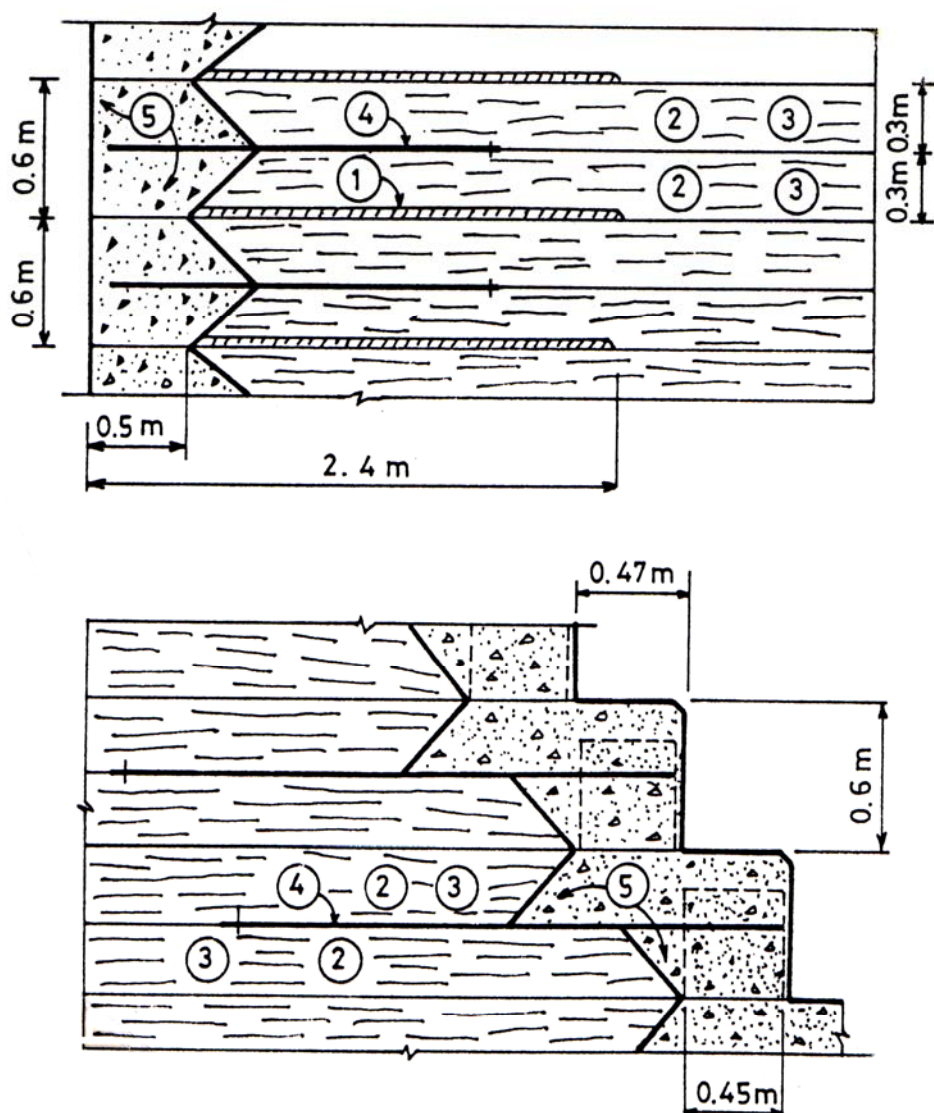
Slika 2. Građenje uzvodnih lica brana *Galesville* i *Middle Fork* (SAD)

Kao što je ranije rečeno, i japanski RCD-metod građenja brana koristi obloge od klasičnog betona, debljine cca. 3 m (Slika 3).



Slika 3. Obloge od klasičnog betona na branama *Shimajigawa* i *Tamagawa* (Japan)

Stepenice preljeva od klasičnog betona (KB) izrađuju se monolitno sa uvaljanim betonom prema nekim od razvijenih metoda. Svi metodi koriste ugrađene unutarnje ankere za nošenje vertikalnog lica oplata (Slika 4).



LEGENDA:

1. Kontaktna mješavina
2. Razastrta etaža UB
3. Zbijena etaža UB
4. Ugrađeni spiralni anker
5. Obložni beton (etaža od 0,6 m)

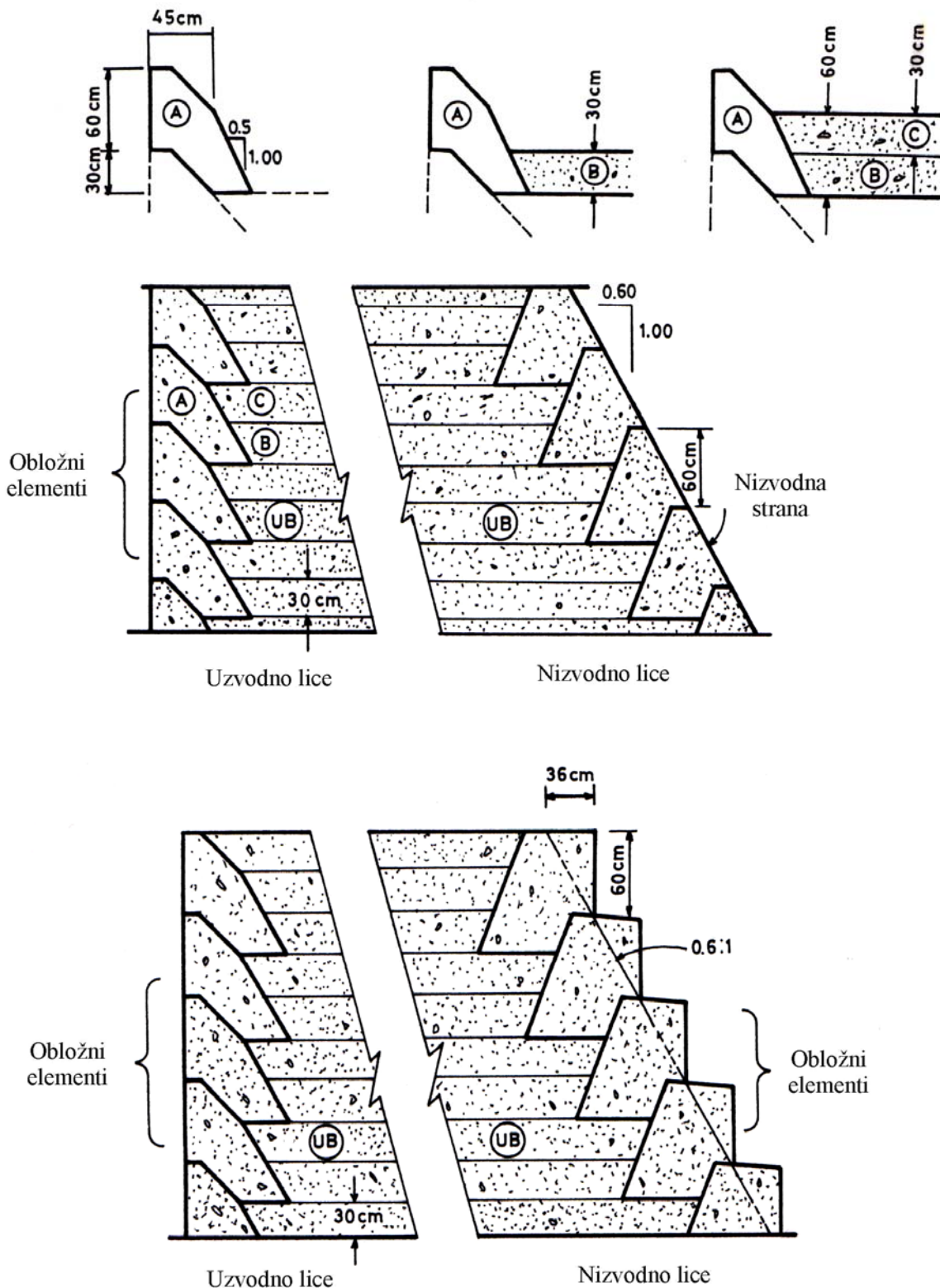
Slika 4. Obložni KB brane *Monksville* (SAD), na uzvodnom licu (gore) i stepenicama preljeva (dolje)

2. RUBNJACI ILI OBLOŽNI ELEMENTI

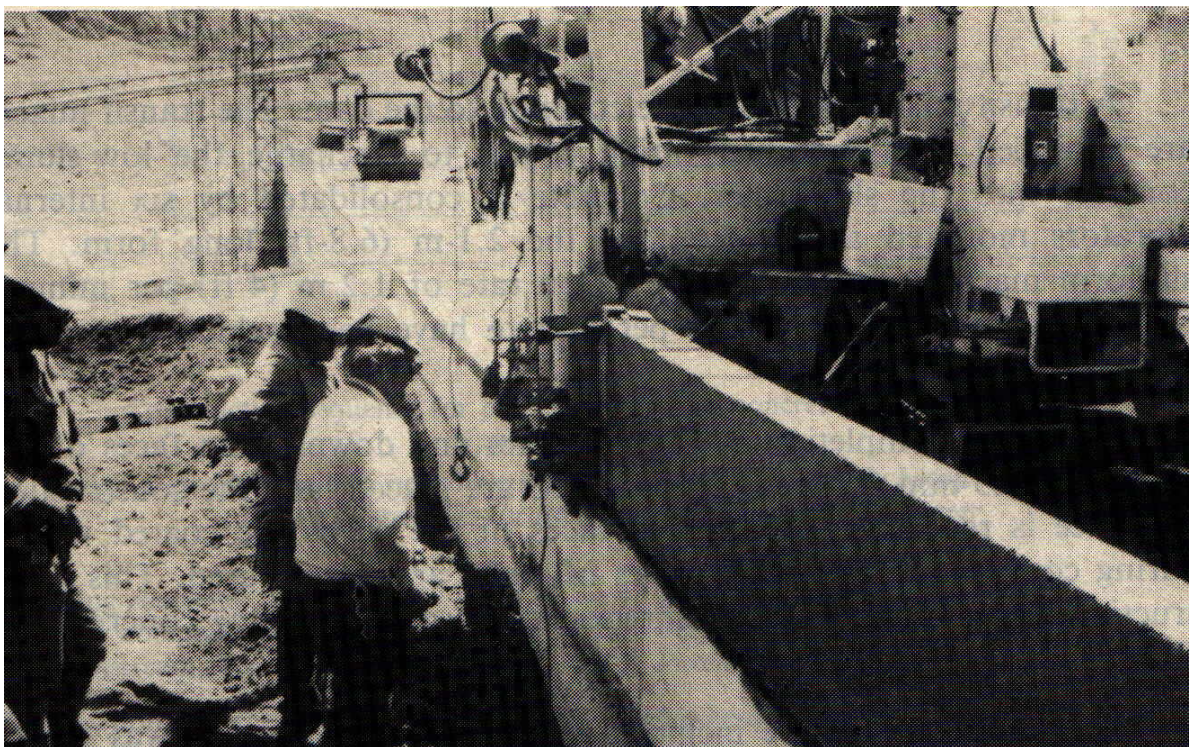
Jedan od načina izrade uzvodnog vertikalnog i/ili nizvodnog kosog lica (uključuju}i, eventualno, i stepenasti preljev) je korištenje kliznom oplatom formiranih rubnjaka ili obložnih elemenata visine 60-75 cm, iza kojih se može ugrađivati uvaljani beton nakon 8 sati, ili sutradan. Ovaj metod se preporuča za brane sa dugom krunom, kao i na vrhu brana gdje je ugradba uvaljanog betona usporena zbog izrade obložnog sustava. Metod je korišten na brani *Upper Stillwater* (SAD), a bio je originalno predložen i za branu *Milton Brook* (V. Britanija). Dobiveno lice je estetski lijepo i otporno, a služi i kao oplata za unutarnji uvaljani beton. Međutim, treba imati u vidu i nepraktičnost vertikalnog spajanja ovim metodom, kao i mogućnost smrzavanja vode akumulirane na kontaktu uvaljanog betona i obloge.

Također, treba uzeti u obzir i dodatnu složenost rada i precizne isporuke betona stroju za izradu obložnih elemenata, kao i koordiniranje s ugradbom uvaljanog betona.

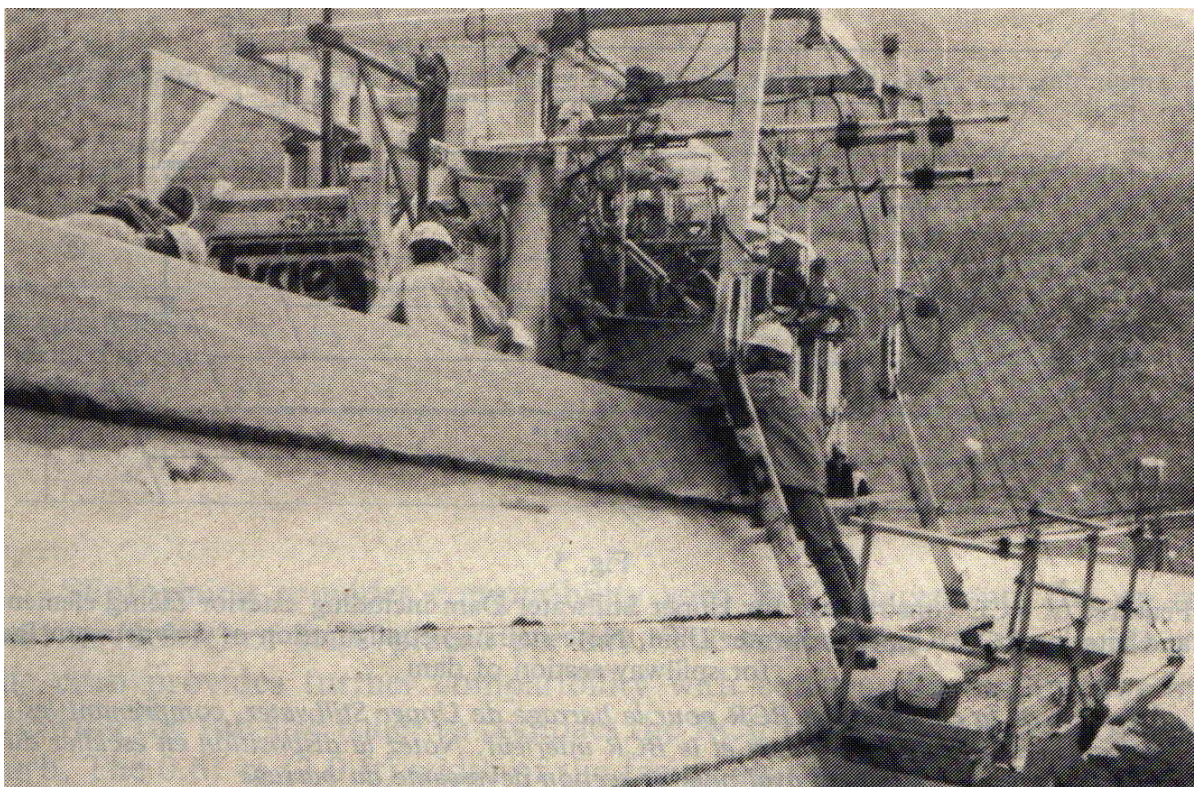
Obložni elementi na brani *Upper Stillwater* (Sl. 5.) su rađeni od sitnozrnatijeg ($D_{max}=25$ mm), masnijeg (380 kg/m³ veziva), aeriranog klasičnog betona, kruće konzistencije (Slump=1,3 cm). Izrađivani su strojem, koji je putovao prosječnom brzinom od 1,2 m/min, što je cca. 1/3 maksimalno postignute brzine. Oblik i dimenzije elemenata, kao i faze ugradbe elemenata i uvaljanog betona, dati su na Sl. 5. Za izradu elemenata duljine cca. 161 km utrošeno je 68.800 m³ betona.



Slika 5. Obložni elementi za branu *Upper Stillwater* (SAD)



Slika 6. Ugradba obložnih elemenata na vertikalnom uzvodnom licu brane *Upper Stillwater* (SAD)

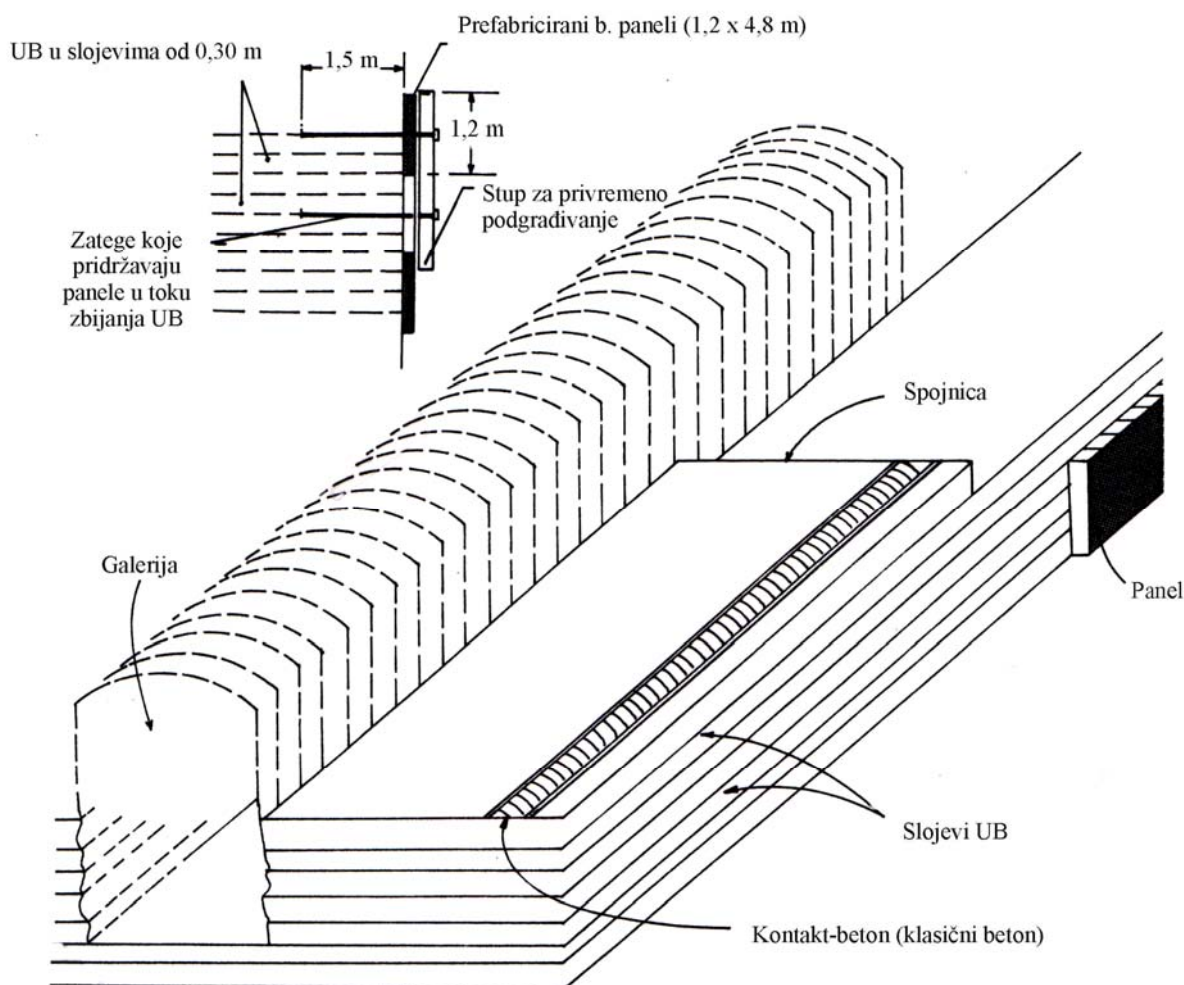


Slika 7. Ugradba obložnih elemenata na nizvodnom uzvodnom licu brane *Upper Stillwater* (SAD)

3. PREFABRICIRANI BETONSKI PANELI I BLOKOVI

Prefabricirani betonski paneli i blokovi uspješno se koriste pri građenju brana od uvaljanog betona, ostajući ugrađeni u njima i oblikujući tako vanjski dio uzvodnog lica.

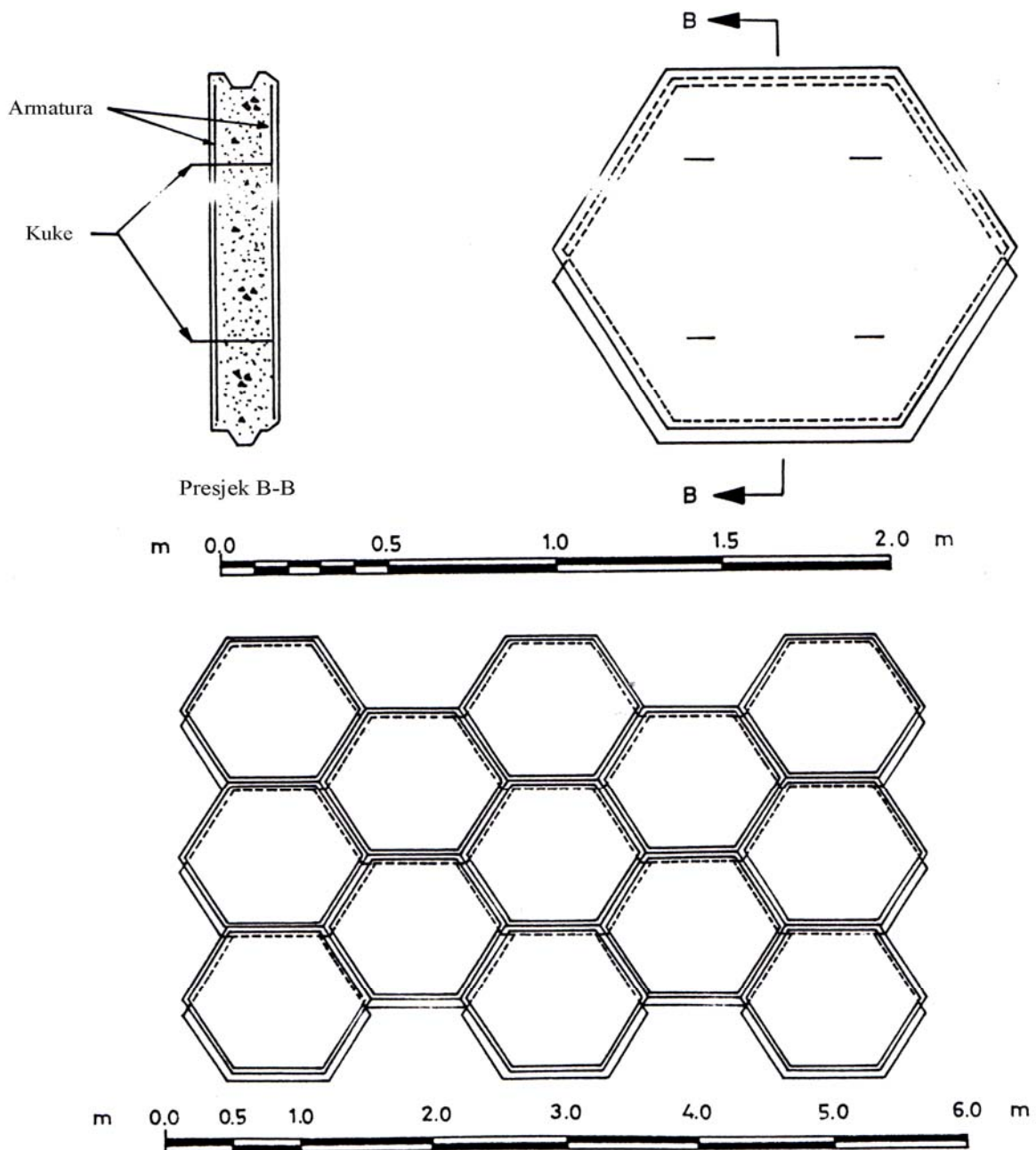
Na brani *Willow Creek* (SAD) primijenjeni su paneli dimenzija 1,2x4,8 m, debljine cca. 9 cm, koji su usidreni svaki sa po dvije čelične zatege promjera 19 mm, duljine 1,5 m (Sl. 8). Privremeni vanjski potporni sustav, pričvršćen za donji red panela, držao je nove panele dok zatege nisu pokrivene uvaljanim betonom. Dobivena je estetski lijepa i otporna površina, koja je štitila unutarnji uvaljani beton.



Slika 8. Prefabricirani paneli na brani *Willow Creek* (SAD), s detaljom

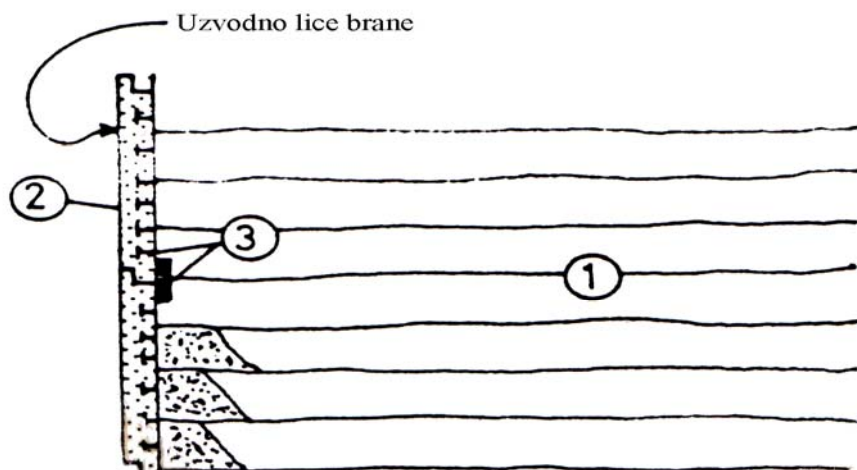
Spojnice panela su ostavljane otvorene, pošto se smatralo da je unutarnji uvaljani beton vodonepropustan, a nije postojao ni praktičan postupak izrade vododrživih spojnica između panela. Treba napomenuti i probleme zbijanja uvaljanog betona iza panela, zbog nemogućnosti pristupa vibro-valjka.

Sličan metod je korišten uspješno na oba lica brane *Braam Raubenheimer* (JAR). Prefabricirani armirano-betonski paneli su bili šesterokutnog oblika, sa četiri kuke na pozadini panela, na koje su zavarene zatege duljine 2,5 m, ankerirane u uvaljani beton. Svaki panel je pridržavan od donjeg susjednog reda panela, a kasnije je nosio susjedne gornje panele. Sustav je dobar za vertikalno ili skoro vertikalno lice, ali zahtijeva dodatne potporne sustave i stvara probleme pri građenju nevertikalnog lica.



Slika 9. Prefabricirani betonski paneli na brani *Braam Raubenheimer* (JAR)

Na brani *Winchester* (SAD) vodonepropustnost spojnice panela je postignuta PVC membranom, debljine 1,7 mm (ili polietilen), pričvršćenom na pozadini panela (Sl. 10). Na spojnicama panela vršena su preklapanja i zavarivanja, prateći napredovanje građenja. Ovaj sustav je osigurao totalnu vododrživost.

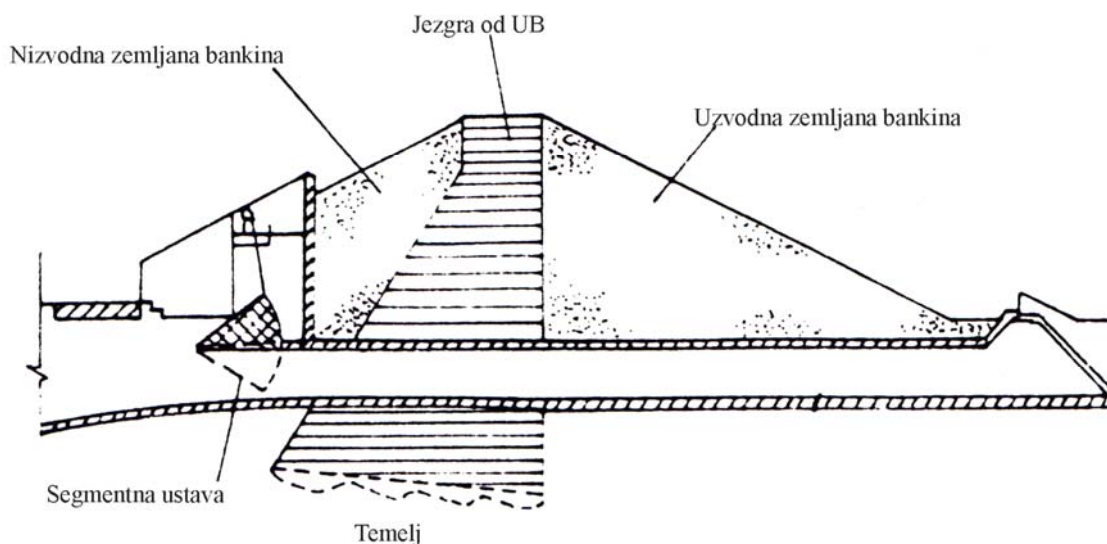


- LEGENDA:**
1. Uvaljani beton
 2. Prefabricirani paneli
 3. PVC membrana s preklopom

Slika 10. Prefabricirani elementi na brani *Winchester* (SAD)

4. ZEMLJANE ILI KAMENE BANKINE

Zemljane bankine su korištene na brani *Holbeam Wood* (Velika Britanija). Ovaj metod je iskorišten za uklapanje brane u okoliš. Međutim, kod viših brana je praktičnost i ekonomičnost ovakvog rješenja problematična.



Slika 11. Poprečni presjek brane *Holbeam Wood* (V. Britanija)

5. NEOBLIKOVANA LICA

Izrada neoblikovanih lica je originalan i jednostavan pristup, čije je rješenje ekonomično, estetski prihvatljivo i iznenađujuće otporno, čak i za oštre klimatske utjecaje. Volumeni brana su veći od potrebnih za gravitacijske brane od uvaljanog betona. Ekonomičnost se može uravnotežiti poređenjem cijene dodatnog iskopa, duljine skretanja i dodatnog materijala sa cijenom izrade lica nekim drugim

metodom. Stabilnost ovakve brane je povećana, a omogućena je primjena uvaljanog betona manje čvrstoće od slabijeg agregata i cementa.

Metod izrade neoblikovanog lica, korišten je za nizvodna lica na branama *Willow Creek*, *Galesville* i *Winchester* (SAD) i za nepreljevni dio brane *Copperfield* (Australija). Nagib lica je varirao od 0,8:1 do 0,9:1 (H:V). Uvaljani beton je razastiran do vanjske ivice, uz pažljivo zbijanje gornje površine etaže. Nevezani materijal na rubovima (cca.15 cm od lica) ima slabiju čvrstoću i predstavlja, u stvari, zaštitu unutarnjeg uvaljanog betona. Za zbijanje ivica etaža primjenjivane su razne tehnike, ali s malim uspjehom. Zadnjih godina kao uspješnom se pokazala primjena kompaktora kosine, koji je primijenjen na brani *Les Olivettes* (Francuska).

Kod niskih brana efikasno je korištenje preljeva hrapave i neoblikovane površine. Takvi preljevi su korišteni i kod viših brana *Willow Creek* i *Galesville* (SAD), bez dugotrajnog i čestog pražnjenja preko preljeva. Iskustvo je pokazalo i dobru kavitacijsku i erozijsku otpornost takvih površina.

6. LITERATURA

1. Dolen,T.P., Richardson,A.T.: *Slipformed Concrete Facing for Roller Compacted Concrete Dams*, Transactions of the 16th ICOLD Congress, San Francisco, VI. 1988, published by the ICOLD, Paris, Vol. 3, Q. 62-R. 22, 1988.
2. Kollgaard,E.B., Jackson,H.E.: *Design Innovations for Roller Compacted Concrete Dams*, Transactions of the 15th ICOLD Congress, Laussane, VI. 1985, published by the ICOLD, Paris, Vol. 2, Q. 57-R. 11, 1985.
3. Elias,G.C., Campbell,D.B., Schrader,E.K.: *Monksville Dam a Oller Compacted Water Supply Structure*, Transactions of the 15th ICOLD Congress, Laussane, VI. 1985, published by the ICOLD, Paris, Vol. 2, Q. 57-R. 12, 1985.
4. Dunstan,M.R.H.: *Design Considerations for Roller Compacted Concrete Dams*, International Water Power & Dam Construction, London, Vol. 38, No. 1, I 1986.
5. Šaravanja,K., Dasović,D. i dr.: *Studija o uvaljanom betonu, literaturni pregled, Knjiga 1*, RO Hidroelektrane na Neretvi, Jablanica, OOUR Institut za studijsko-razvojne poslove, Mostar, V. 1989.
6. Rogić,V., Matković,B., Dimic,D., Selimović,M., Šaravanja,K., Dasović,D. i Zebić,S.: *Svojstva hidrauličnih veziva od elektrofilterskih pepela TE Gacko i razmatranje moguće upotrebe u uvaljanom betonu*, Saopćenja s 14. kongresa JDVB, Struga, X.. 1989, Knjiga 1, 1989.
7. Selimović,M., Šaravanja,K., Rogić,V., Dasović,D. i Zebić,S.: *Pristup istraživanju i primjeni uvaljanog betona za brane*, Saopćenja s 14. kongresa JDVB, Struga, X. 1989, Knjiga 1, 1989.
8. Rogić,V., Matković,B., Dimic,D., Selimović,M., Šaravanja,K., Dasović,D. i Zebić,S.: *Svojstva hidrauličnih veziva od elektrofilterskog pepela TE Gacko i razmatranje moguće upotrebe u uvaljanom betonu*, I. Kongres Društva građevinskih konstruktera BiH, Sarajevo, XI. 1989.
9. Šaravanja,K. i Dasović,D.: *Tehnologija uvaljanog betona za izgradnju brana i kolovoza s osvrtnom na branu HE Glavatičevo na r. Neretvi*, Zbornik radova znanstveno-stručnog skupa «Pravci razvoja HZ H-B», Sveučilište u Mostaru, Neum, IV. 1993. (reprint: Građevni godišnjak '96 DGITHB)
10. Šaravanja,K.: *Primjena uvaljanog betona za građenje kolnika*, Zbornik radova 1. Hrvatskog kongresa o cestama Opatija, Knjiga 2, Hrvatsko društvo za ceste "Via - Vita", Zagreb, X. 1995. (reprint: Građevni godišnjak '96 DGITHB)
11. Šaravanja,K.: *"Uvaljani beton s posebnim osvrtnom na mogućnosti korištenja elektrofilterskih pepela"* (magistarski rad), Sveučilište u Zagrebu, 1995.
12. Šaravanja,K.: *Uvaljani beton za građenje brana*, Časopis Hrvatskog društva građevinskih inženjera «Građevinar» Zagreb, Vol. 48, No. 2, II. 1996.

7. KRATICE

ACI – American Concrete Institute, Detroit, USA

ASCE – American Society for Civil Engineers, New York, USA

DGITHB – Društvo građevinskih inženjera i tehničara Herceg-Bosne, Mostar

ICOLD – International Commission on Large Dams, Paris, France

JAR – Južnoafrička Republika

JDVB – (ex)Jugoslavensko društvo za visoke brane
RCC – Roller Compacted Concrete
RCD – Rolled Concrete Dam
SAD – Sjedinjene američke države
UB – uvaljani beton
USA – United States of America
USACE – U.S. Army Corps of Engineers, Walla Walla, USA