

Mr. sc. Krešimir Šaravanja, dipl. inž. građ.
Građevinski fakultet u Mostaru

OBRADA HORIZONTALNIH SPOJNICA ETAŽA KOD BRANA OD UVALJANOG BETONA

Sažetak

U ovome radu dat je kratak prikaz osnovnih načina ostvarivanja dobre veze na spojnica uvaljanog betona:

- ograničenje zrelosti spojnica i
- nanošenje kontaktnog materijala (mort ili beton) ili masnog uvaljanog betona na spojnicu, prije ugradbe nove etaže.

Ključne riječi: uvaljani beton, horizontalne spojnice, kontaktni mort, kontaktna mješavina

HORIZONTAL LIFT JOINT TREATMENT FOR RCC DAMS

Summary

In this paper a short review of basic methods of achieving of the good bond at RCC joints:

- Time-temperature (maturity) restrictions and
- Application of bedding mixture (mortar or concrete) or high paste RCC on joint before placing new RCC lift.

Key words: RCC (Roller Compacted Concrete), horizontal joints, bedding mortar, bedding mixture

1. OPĆENITO

Uvaljani beton (UB) se ugrađuje u horizontalnim etažama, formirajući spojnice etaža ili horizontalne konstruktivne spojnice, koje predstavljaju najslabija mjesta u branama od UB. Ukupan broj spojnica određen je debljinom etaža UB i ukupnom visinom građevine. Vlačna i posmična čvrstoća na spojnica je manja nego ona u matičnom UB. Pri ugradbi nove etaže krupna zrna agregata stvaraju efekt mosta, što sprječava prodiranje paste u udubljenja unutar površine prethodne etaže i u šupljine između zrna agregata na dnu gornje etaže. Način i stupanj obrade horizontalne spojnice ovise o vezi etaža i zahtjevnoj vododrživosti građevine. Ako ostvarena veza na spojnica etaža nije dobra (segregacija i nedostatna veza) može doći do povećanog procurivanja upravo na tim mjestima i potencijalno visokih uzgona na spojnica izloženim hidrostatskom pritisku. Kvaliteta spojnica ovisi o njihovoj čistoći, sadržaju morta u mješavini ili na kontaktu, kao i o tzv. *zrelosti spojnica*, definiranoj kao produkt srednje temperature površine i vremena izlaganja. Kada nova etaža nije na vrijeme ugrađena (klimatski razlozi, predviđena dinamika radova, održavanje opreme i sl.), donja etaža gubi obradljivost, počinje očvršćavati i postaje hladna spojnica ili neplanirana radna spojnica.

2. OBRADA SPOJNICA

Vrsta i stupanj obrade spojnica etaža od UB ovise od zahtjevine kvalitete veze i potrebne vododrživosti građevine. Za etaže UB gdje kvaliteta veze i vododrživost nisu kritični parametri, poslije završetka zbijanja vibro-valjkom, uobičajena obrada spojnica sastoji se samo od kontinuiranog vlaženja i eventualnog čišćenja zaprljanih površina ispiranjem vodom i zrakom. U suprotnom (na pr. kod hidrauličnih građevina od UB), na prethodnu etažu nanosi se tanki sloj visokoobradljivog podložnog kontaktnog materijala (mort ili klasični beton), neposredno prije ugradbe nove etaže UB. Ovako nanosena pasta na graničnoj površini etaža osigurava dobru vezu i djelomično zbija UB prije konačnog zbijanja vibro-valjkom. Operateri na dozeru i na drugoj opremi moraju biti pažljivi da bi se izbjeglo oštećenje površine prethodne etaže UB i sprječila moguća segregacija.

Po hladnom vremenu treba osigurati nadzor temperatura i zaštitu izloženih površina radi sprječavanja smrzavanja. S druge strane, po vrućem vremenu treba osigurati zaštitu od vjetra, vlaženje prskalicama i druge mjere za sprječavanje gubitka vlažnosti ili prevelikog zagrijavanja.



Sl. 1. Ugradba UB na brani *Elk Creek*, SAD (lijevo),
s detaljom razastiranja kontaktnog morta (desno)

Kapacitet postrojenja treba zadovoljiti uobičajeno visoke brzine proizvodnje UB i osigurati da površine horizontalnih spojnica budu izložene minimum vremena. Laboratorijska istraživanja su pokazala da se kvaliteta veze na spojnica počinje smanjivati gotovo odmah nakon ugradbe, pa je čvrstoća veze na spojnica etaža poboljšana kada iste ostaju izložene minimalno vrijeme.

3. OBRADA HLADNIH SPOJNICA

Hladna spojnica UB može nastati kada se dopusti da površine horizontalne etaže postane suha, da veže ili da je zaprljana prije nanošenja nove etaže. To ima za posljedicu smanjenu čvrstoću veze s narednom etažom, čak i uvjetima vlaženja, dok se ne poduzmu specijalne mjere za osiguranje vezivanja dvije etaže. Hladne spojnice mogu nastati na površini etaže ako površina UB ostaje nepokrivena sljedećom etažom dovoljno dugo vremena da se sprječi njeno početno vezivanje, ili približno 1 do 3 sata nakon ugradbe. Klimatski uvjeti koji doprinose isušivanju površine UB (temperatura, vlažnost i vjetar) su također značajni činitelji smanjenja čvrstoće spojnica, zbog nedostatka vlage za hidrataciju cementa. Iako se hidratacija nastavlja uz novo vlaženje, čvrstoća na spojnici je značajno smanjena.

Jedan od načina za ostvarenje dobre veze na spojnica je *ograničenje zrelosti spojnica*. Ograničenje zrelosti spojnica služi za procjenu maksimalnog vremena izloženosti prije nastanka hladne spojnice, pri određenoj temperaturi površine spojnice. Osim činitelja obuhvaćenih u pojmu zrelosti, treba razmotriti i vlažnost i sadržaj paste u UB, trajanje i jačinu osunčanosti, brzinu vjetra, vlažnost atmosfere i dr. Za zrelost spojnica do 250 °Fxsati njihova čvrstoća na posmik je bliska čvrstoći osnovne mješavine. Čiste spojnice sa većom zrelošću imaju nešto slabiju kvalitetu ako UB ima visok sadržaj veziva i sitniji agregat.

Mršavije mješavine s krupnijim agregatom imaju dobru čvrstoću na posmik do zrelosti od 2.000 °Fxsati, uz izvjesno procjeđivanje ako spojnice nisu obrađene. Za veće zrelosti nosivost na posmik opada. Propisane granične zrelosti za neke od brana i od strane nekih autora iznose:

a) brane

- brana <i>Willow Creek</i> (SAD)	1.600 °Fxsati (870 °Cxsati)
- brana <i>Middle Fork</i> (SAD)	800 °Fxsati
- brana <i>Uruqua-I</i> (Argentina)	700 °Fxsati
- brana <i>Saco de Nova Olinda</i> (Brazil)	700 °Fxsati
- brana <i>Cedar Falls</i> (SAD)	560 °Fxsati
- brana <i>Galesville</i> (SAD)	500 °Fxsati
- brana <i>Los Arroyos</i> (Španjolska)	200 °Cxsati

b) autori

- Schrader	350 °Fxsati
- Kollgaard i Jackson	400-500 °Fxsati (200-260 °Cxsati)
- Elias, Campbell i Schrader	400-600 °Fxsati (220-330 °Cxsati)

Potrebno je napomenuti da se ne može vršiti izravno pretvaranje jedinica °Fxsati u °Cxsati i obrnuto, analogno pretvaranju °F u °C, i obrnuto*. Približna konverzija može se dobiti pretpostavljanjem temperature etaže od 70 °F, odnosno 21 °C.

Dakle, ako spojnice imaju zrelosti manje od preporučenih graničnih vrijednosti i ako su održavane čiste i vlažne, ne zahtijeva se nikakva obrada.

Glede vremena između ugradbe etaža, prema Richardson-u do 18 sati dobiju se vezane spojnice, između 18 i 48 sati ne postoji potrebna kvaliteta veze, a nakon 48 sati dobije se veza, ali male čvrstoće. Stoga, uz ograničenje zrelosti, postoje i ograničenja vremena između etaža, kao npr.:

- brana <i>Willow Creek</i> (SAD)	max 38 sati
- brana <i>Saco de Nova Olinda</i> (Brazil)	max 60 sati
- brane <i>Cedar Falls</i> i <i>Upper Stillwater</i> (SAD)	max 72 sata

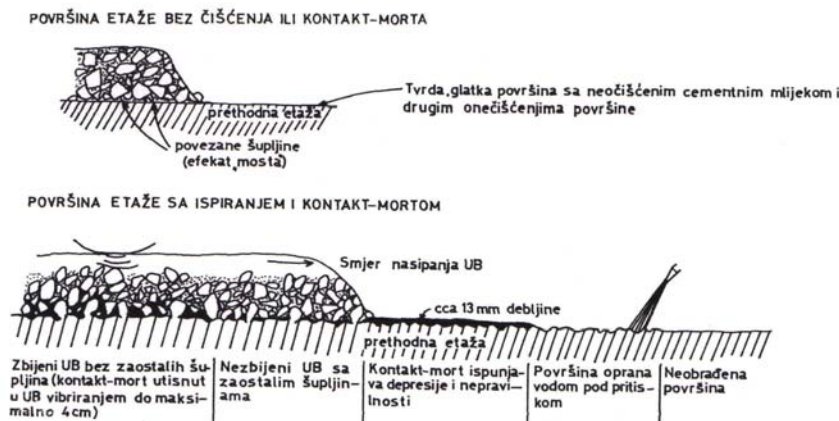
Na brani *Upper Stillwater* u prva 24 sata nije zahtijevano čišćenje već samo usisavanje nečistoća prije ugradbe nove etaže. U periodu od 24 do 72 sata površina je metena, a onda nekoliko puta usisavana. Ako nije postignut traženi efekat, vršeno je ispiranje vodom i zrakom. Za prekid veći od 72 sata zahtijevan je veliki tlak pri ispiranju.

 * °F=1,8 x °C + 32
 °C=(°F - 32) / 1,8

Hladne spojnice UB zahtjevaju specijalan tretman da bi osigurale odgovarajuću vezu s narednom etažom. Uobičajen tretman hladne spojnice uključuje ispiranje pod visokim tlakom ili pjeskarenje radi uklanjanja omotača od morta ili drugih onečišćenja, nakon čega slijedi intenzivno ispiranje pod smanjenim tlakom vode i zraka radi uklanjanja suvišne vode i ostataka. Nakon toga površina se održava u vlažnom stanju i prekriva tankim slojem kontaktnog morta ili betona neposredno prije ugradbe naredne etaže UB.

4. KONTAKTNI PRISTUP

Drugi način ostvarenja dobre veze na spojnica etaža od UB je *kontaktni pristup*, koji je efikasno korišten na branama *Middle Fork, Monksville, Kerrville, Galesville* (SAD), *Copperfield* (Australija), *Saco de Nova Olinda* (Brazil), itd. Ako je površina spojnice isušena, a granična zrelost spojnice prekoračena, na očišćenu spojnici se prije ugradbe nove etaže UB nanosi sloj kontaktne mješavine, najčešće morta s visokim sadržajem veziva (koji ima visok *Slump*), betona ili masnijeg UB, čija je zadaća ispunjenje mogućih šupljina na dnu etaže od UB nastalih u tijeku ugradbe i zbijanja. Kontaktni sloj mora biti ugrađen dovoljne debljine za ispunjenje ovih šupljina, bez utjecaja na obradljivost UB.



Sl. 2. Obrada spojnica na brani *Elk Creek*, SAD

Viskoplastični kontakt mort, debljine od 0,6 do 1,3 cm, sa maksimalnim zrnom agregata $D_{max}=4,75$ mm, mjerom slijeganja $Slump=18-23$ cm, povećanim udjelom sitnog agregata, paste (volumen paste mora biti min. 20% veći od optimalnog koji daje maksimalnu volumnu masu da bi pri vibro-zbijanju ispunila šupljine između segregiranih čestica agregata na očvrstloj spojnici) i aditiva (superplastifikatori-reduktori vode i retarderi). Zbog velikog sadržaja

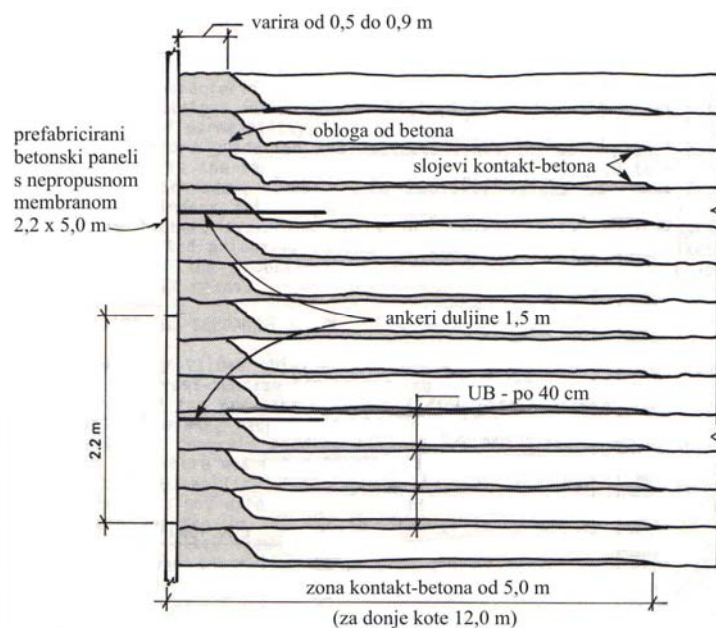
retardera, primjena kontakt-betona po toplom vremenu je produljena i na nekoliko sati. Obično se kontakt-beton ugrađuje cca. od 10 do 20 m (općenito govoreći od 3 do 30 m) ispred UB, njačešće od 10 do 15 minuta ranije. Ovaj interval između razastiranja kontaktnog sloja i ugradbe UB treba biti skraćeni ljeti, odnosno produljen zimi. Zbog nepraktičnosti nanošenja novog UB preko kontaktne mješavine bez oštećenja ili razgazivanja preko prethodno očišćene površine spojnice ne smije se dopustiti njeno isušivanje (zbog djelovanja sunca, vjetra ili hidratacijske topline) prije razastiranja nove etaže preko nje. Kontaktna mješavina se obično isporučuje mikerom ili kranom (gdje je vozilima onemogućen pristup) na površinu etaže i obično se razastire se manuelno. Na velikim projektima koriste se mali traktori s prednjim ralicama za razastiranje kontaktne mješavine preko velikih površina. Kontaktni mort je često bio i pumpan na površinu etaže i primijenjen kao vlažno miješani šotkret. Ovaj metod je odličan za kontroliranje širine opsega i debljine kontaktnog sloja.



Sl. 3a) nanošenje kontakt-betona, uz prethodno čišćenje zrakom površine UB
b) nanošenje tekuće mješavine cement-pijesak

Beton se koristi kao kontaktna mješavina radi osiguranja vododrživosti uzvodnog lica nekih brana. Obično ima $D_{\max}=19$ mm, uz *Slump*=13-18 cm. Razastire se manuelno u sloju debljine koja općenito odgovara D_{\max} i najčešće iznosi od 1,3 do 2,5 cm, uz neke izuzetke (*Copperfield*, Australija 4 cm, brane u JAR 7,5 cm), od jedne do druge obale u zoni širine od 0,9 do 3,0 m, iza uzvodnog lica. Širina ove zone se može povećati na trećinu širine ili, eventualno, na cijelu površinu etaže. Ugradba duž cijele etaže, uz povećane troškove, može rezultirati i slabijom kvalitetom. Ako je sloj previše tanak neće biti osigurano efikasno spajanje, odnosno zaptivanje. Ako je sloj previše debeo valjak će pokušati zbiti uvaljani beton koji će plutati na kontakt-betonu.

Kontaktna mješavina se preporuča i na drugim potencijalnim putovima procjeđivanja, kao što su kontakti s temeljom i tamo gdje UB dodiruje površine pomoćnih građevina (npr. oko galerija).



Sl. 4. Detalj uzvodnog lica brane *Uruqua-I*, sa slojevima kontakt-betona

Japanci koriste tehniku nanošenja tankog sloja (općenito 1,5 cm) tekućeg kontakt-morta, uz dobru kontrolu kvalitete. Na brani *Elk Creek* (SAD) kontakt-mort, debljine 1,3 cm, nanošen je preko cijele površine, neposredno prije ugradbe nove etaže uvaljanog betona (Sl. 4), ispunjavajući sve šupljine i udubljenja u prethodnoj etaži. Njegovom primjenom ne samo da su ispunjena sva udubljenja i nepravilnosti u prethodnoj etaži, već se mort probija nagore ispunjavajući šupljine na dnu svježe ugrađene etaže uvaljanog betona. Zbijanjem se ostvaruje visoka kvaliteta veze i eliminiraju potencijalni putovi procjeđivanja. Na brani *Tamagawa* (Japan) postignuto je prodiranje kontakt-morta u gornju etažu 2,5 do 3,8 cm. Kontakt-mort je korišten na malom broju objekata izvan Japana, jer taj metod koristi više cementa, vezanje i isušivanje je brže, može ostati disk morta sa visokim skupljanjem između etaža uvaljanog betona i ne prepliće se sa uvaljanom betonom tako dobro kao kontakt-beton. Metod je skup, dugotrajan i težak za kontrolu.

Kada UB ima $D_{\max}=38$ mm, dobra veza se može postići bez kontaktne mješavine korištenjem masnije mješavine UB. Obično se povećava sadržaj pucolana radi smanjenja hidratacijske topline. Naredne etaže trebaju imati smanjen sadržaj vode radi omogućavanja nošenja vibro-valjka. Ovaj postupak je korišten na brani *Upper Stillwater* (SAD).

5. LITERATURA

- [1] Andrade,W.P.: «*Annex 1 to GR.Q.62*», Transactions of the 16th ICOLD Congress, San Francisco, VI. 1988, published by the ICOLD, Paris, Vol.3, GR.Q.62,1988.
- [2] Bayan,B.J.: «*Execution and Control of the Castilblanco de Los Arroyos Dam with Roller Compacted Concrete*», Transactions of the 16th ICOLD Congress, San Francisco, VI. 1988, ICOLD, Paris, Vol. 3, Q. 62-R. 32, 1988.
- [3] Benson,S.A., Verigin,W.M., Carney,J.M.: «*Cedar Falls Roller Compacted Concrete Dam*», Proceedings of the ASCE Conference on RCC, San Diego, II.-III. 1988, ASCE, New York, 1988.
- [4] Dolen,T.P., Tayabji,S.D.: «*Bond Strength of Roller Compacted Concrete*», Proceedings of the ASCE Conference on RCC, San Diego, II.-III. 1988, ASCE, New York, 1988.
- [5] Elias,G.C., Campbell,D.B., Schrader,E.K.: «*Monksville Dam a Roller Compacted Water Supply Structure*», Transactions of the 15th ICOLD Congress, Laussane, VI. 1985, ICOLD, Paris, Vol. 2, Q. 57-R. 12, 1985.
- [6] Hopman,D.R., Keifer,O.Jr., Anderson,F.A.: «*Current Corps of Engineers Concepts for Roller-Compacted Concrete in Dams*», Proceedings of the ASCE Symposium on RCC, Denver, V. 1985, ASCE, New York, 1985.
- [7] Kollgaard,E.B., Jackson,H.E.: «*Design Innovations for Roller Compacted Concrete Dams*», Transactions of the 15th ICOLD Congress, Laussane, VI. 1985, ICOLD, Paris, Vol. 2, Q. 57-R. 11, 1985.
- [8] Oberholtzer,G.L., Lorenzo,A., Schrader,E.K.: «*Roller Compacted Concrete Design for Uruguay-I Dam*», Proceedings of the ASCE Conference on RCC, San Diego, II.-III. 1988, ASCE, New York, 1988.
- [9] Schrader,E.K., Thayer,C.H.J.: «*Willow Creek Dam - a Roller Compacted Concrete Fill*», Transactions of the 14th ICOLD Congress, Rio de Janeiro, V. 1982, ICOLD, Paris, Vol. 4, 1982.
- [10] Schrader,E.K.: «*Watertightness and Seepage Control in Roller Compacted Concrete Dams*», Proceedings of the ASCE Symposium on RCC, Denver, V. 1985, ASCE, New York, 1985.
- [11] 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.
- [12] 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.

- [13] Šaravanja,K.: "Uvaljani beton s posebnim osvrtom na mogućnosti korištenja elektrofilterskih pepela" (magistarski rad), Sveučilište u Zagrebu, 1995.
- [14] Šaravanja,K.: *Uvaljani beton za građenje brana*, Časopis Hrvatskog društva građevinskih inženjera «Građevinar» Zagreb, Vol. 48, No. 2, II. 1996.
- [15] Šaravanja,K.: «*Tehnologija izvođenja brana od uvaljanog betona*», Sveučilište u Mostaru, Znanstveni glasnik br. 10, Mostar, 2001.
- [16] Šaravanja,K.: «*Prikaz tehnologije uvaljanog betona za gradnju brana i kolnika*», Zbornik br. 1 Građevinskog fakulteta Sveučilišta u Mostaru, 2001.
- [17] USACE: «*Structural Design using the Roller-Compacted Concrete (RCC) construction process*», Engineer Technical Letter ETL 1110-2-343, V. 1993.
- [18] USACE: «*Roller-Compacted Concrete*», Engineer Manual EM 1110-2-2006, I. 2000.

6. 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