

CURENJE BRANA OD VALJKOM ZBIJENOG BETONA: STANJE STVARI SA PREDLOGOM PROMENA

*U znak sećanja na one koji su znali pre mnogih da "valjaju" beton:
srpskim neimarima Đorđu Lazareviću i Jovanči Đokiću*

Mirko PETKOVIĆ
Negotin, E-mail: nezavisni@ptt.yu

"Sve je sadržano u toj reči"

Porov odgovor Aleksandru Filipovom (356-323) posle
bitke na Hidaspu maja-juna 326. godine p.n.e.

REZIME

Prekomerno curenje je tipičan ali i jedan od najznačajnijih problema RCC brana - sve ostalo je sadržano u naslovu, a potom i prezentiranom rukopisu koji predstavlja pokušaj celovitog razmatranja ovog problema sa dovoljno širokom analizom, pregledom stanja u svetu i nekoliko inovativnih predloga postupaka, kao i primene novih materijala, koji zajedno predstavljaju novinu i doprinos još nepostojećoj domaćoj praksi, a dobrim delom i savremenoj svetskoj praksi izgradnje ovih, danas veoma aktuelnih konstrukcija.

Ključne reči: RCC brane, pukotine u betonu, spojevi, metode kontrole curenja, oblaganje, prafabrikovani paneli, geokompozitne obloge, geomembrane, novi materijali, novi postupci

A. UVOD

A.1. Kratka istorija RCC-a. Iako je valjkom zbijeni beton (RCC, *roller-compacted concrete*, *béton compacté au rouleau*, tj. tzv. "rollcrete" ili "rolled concrete") prvobitno nastao i počeo da se primenjuje u praksi u sklopu poboljšanog postupka stabilizacije tla, kao iznuđena i ekonomična zamena za pojedine klasične materijale u otežanim uslovima njihovog dopremanja, zbog potrebe brze intervencije i prilagodjavanja novoiskrsnim okolnostima, kao i izgradnje suvih, dovoljno čvrstih i izdržljivih površina na slabom tlu (Tabela 1.), kao krajnji rezultat je dobijen nov materijal sa novom tehnologijom i nizom prednosti u odnosu na klasične betone i metode njihove izrade. Uporedo sa

tim RCC materijal se pokazao i značajno ekonomičnijim - ne samo u odnosu na beton, već često i u odnosu na kombinovane materijale dobijene od lomljenog kamena ili/i zemlje.

Godina	OBLAST/OBJEKAT	Materijal
p.n.e.	Zigurati Sumera - Earthfill postupak	tlo+opeka
	Rimske građevine (suva AC mešavina zbijana u slojevima, p:Vetruvius-20B.C.)	Antički beton
<1940	Niskogradnja - Kraljevina Jugoslavija (Izgradnja - sparbeton zbijan valjkom)	rcc+CC
	Niskogradnja - Australija (Saobraćajnice - Izgradnja -Earthfill postupak)	RCC
1942	Niskogradnja - USA (Vojna pista u Yakimi - Izgradnja - Rockfill postupak)	RCC
1965	Hidrogradnja- Italija (Brana Alpe Ger 174m, Izgradnja-Klasični rcc ₁ postupak)	RCC
1974/75	Hidrogradnja - Pakistan (Brana Tarbela, 143m, Sanacija-Klasični rcc ₁ postupak)	CC+RCC
1976	Niskogradnja - Kanada (Skladišni platoi u Cayuse-u. Izgradnja - K. rcc ₁)	RCC
1980	Parking prostori - USA (Izgradnja - Krcc)	RCC .
	Brana Erl Creek-USA (Izgradnja-Krcc)	CC+RCC
	Brana Ocoee (9m)-USA (Rekonstruk.)	RCC
	Brana Shimajigawa (89m) - Japan (Izgradnja - K rcc ₂ postupak)	RCD
1980/82	Brana Willow Creek (49m) - USA (Izgradnja - ARMB paneli)	RCC
1984	Brana Carrol E.Eston - USA (Izgradnja - Winchester postupak)	RCC
	Prevodn.New Cumberland-USA(Izg.-K ₁)	RCC
	Prel. prag Chena Project -USA(Izgr.-K ₁)	RCC
1985	Brana Kerrville Ponding - USA (Rk - K ₁)	RCC

Zato nije čudno što su te njegove mogućnosti da tehnički vrlo efikasno, a potom i ekonomično zameni klasični masivni beton, kamen, zemlju i sličan građevinski materijal, a istovremeno i da osavremeni, pa čak i da eliminiše uobičajene metode rada, za kratko vreme dovele u hidrogradnji do korišćenja valjkom zbijenog betona kao osnovnog materijala za izgradnju oko 250 novih brana viših od 15m, (do 2003., od čega preko 160 samo do 1994.) i za sanaciji ili rekonstrukciji preko 75 postojećih.

Danas najviše RCC brane u svetu su Miel I u Kolumbiji sa 192m visine (izgraena 2002.), Longtan u Kini sa projektovanih 192m (u izgradnji) i Ta Sang u Myanmaru sa projektovanih 227m (u izgradnji), a najveća Tha Dan Canal na Tajlandu sa $5.5 \times 10^6 \text{m}^3$ RCC mase (u izgradnji).

A.2. RCC materijal. U principu on predstavlja jednu relativno posnu, čvrstu, rastresitu i polusuvu betonsku mešavinu, približno "vlažnu ili slabo vlažnu kao zemlja", niskog, ali ipak zahtevanog stepena obradljivosti i otpornu na samosleganje tj. "zero slump" ili "no slump". Dobija se mešanjem grubog i sitnog agregata (lokalni drobljeni ili prirodni rečni i brdski agregat, reciklirani beton i sl.), cementa, pucolana-letećeg pepela, vode, a ponekad, kao i kod klasičnog betona, sa raznim puniocima, aerantima, usporivačima, ubrzivačima, rashladnim supstancama, plastifikatorima tj. dodacima za smanjenje vode i sl.

Suštinska razlika između valjkom zbijenog betona i konvencionalnog masivnog betona je pre svega u *konzistenciji mešavine* (sa manje vode i cementa, iako uobičajeno sa više peska - zbog problema segregacije), a skoro sve ostale razlike i inovativni postupci se mahom mogu smatrati kao uzročno-posledične veze diktirane i omogućene tim razlikama, kao što je npr. najznačajnija - *metoda konsolidacije* (upotreba mašina za planiranje i vibro-valjaka za zbijanje umesto pervibratora) sa rezultujućom kompaktnošću i monolitnošću očvrslog betona, kao i *smanjeni inteziteti i temperaturne razlike* u procesu konduccionog prenosa toplote, *smanjena pojava prslina, smanjeno skupljanje, povećanje otpornosti na dinamička i erodivna dejstva*, ali takođe i *automatizacija procesa, veća produktivnost rada, veća brzina i manje jedinične cene tj. manji troškovi izrade i ugradnje* RCC mešavine i sl. Popularno rečeno, RCC-sistem gradnje originalno podrazumeva pre svega izgradnju stabilnog i dugotrajnog objekta po principu "**JEVTINO + BRZO = 2 x JEVTINO**" [tj., (jevtiniji materijal = RCC mešavina) + (jevtiniji tj. brži rad = RC tehnologija)], iako su u praksi moguće i određene njegove modifikacije.

Međutim, iz te iste osnovne karakteristike RC-betona, iz koje je proizašao niz njegovih prednosti za primenu u savremenoj praksi izgradnje brana i hidrotehničkih konstrukcija, proizilazi i jedna njegova osobena mana, a to je - *vodopropustljivost*.

Rešavanje tog, još na samom startu uočenog problema, dovelo je do pojave:

- raznih receptura i modifikacija osobina RCC mešavine (od 70-ih godina putem raznih dodataka),
- kombinovanog korišćenja RC i CC betona (od 70- i 80-ih, sa izradom licâ od CC, a ispune od RCC),
- korišćenja smese sa više cementa ili "zalivanja" ugrađene mešavine vezivom (od 80-ih u cilju obogaćivanja i popunjavanja pora - GE, RCD i sl.),
- prefabrikovanih betonskih obloga sa funkcijom oplate u procesu gradnje (80-ih zajedno sa CC-om),
- raznih ispuna i debeloslojnih obloga sa organskim vezivima i vezivima od sintetičkih smola (90-ih po ugledu na već oprobane sisteme),
- raznih geosintetičkih zaštita (85- i 90-ih sa i bez ugrađenih MB-obloga),

a sve u cilju smanjenja curenja tj. smanjenja ukupne količine vode koja se filtrira kroz telo RCC brane. Svakako najsavremeniji pristup ovoj problematici kod konstrukcija tipa RCC brana predstavlja onaj koji se bazira na primeni geosintetičkih materijala, a idealno rešenje - onaj postupak koji uz sve to istovremeno uspeva i da zadovolji spomenuti ekonomski princip originalne RCC tehnologije.

Prezentirani rad predstavlja pokušaj jednog takvog razmatranja problema curenja kod RCC brana sa dovoljno širokom analizom predmetne problematike, pregledom stanja u svetu i nekoliko inovativnih predloga postupaka, kao i primene novih materijala, koji zajedno predstavljaju novinu i doprinos još uvek nepostojećoj domaćoj praksi, a dobrim delom i savremenoj svetskoj praksi izgradnje ovih konstrukcija.

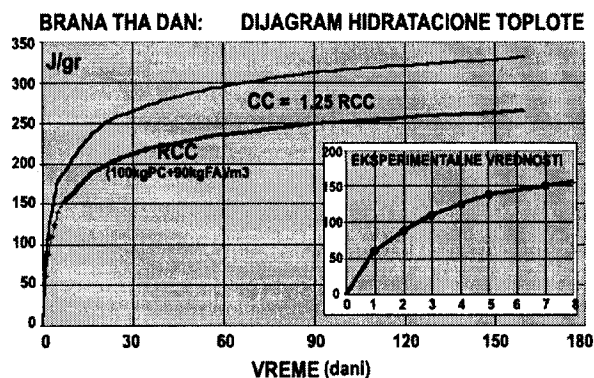
B. MESTA POJAVE CURENJA KOD RCC BRANA

Bez obzira na skoro sve do danas primenjivane postupke izgradnje, ipak, prema većini današnjih mišljenja, brane od valjkom zbijenog betona su kompletno podložnije procedivanju i curenju, sa više izraženom i očekivanom tom pojavom na mestima etažnih spojeva u RCC masi, ali i na mestima manje očekivanih pukotina u toj istoj masi.

B.1. Pukotine. U betonskoj masi pukotine se javljaju kao rezultat sprečenog *skupljanja betona*, *temperaturnih razlika* tj. *temperaturnog gradijenta*, *izloženosti betona ciklusima zamrzavanja i odmrzavanja*, *alkalno-agregatnih reakcije*, kao i *neravnomernih sleganja fundamenta*. Pored toga mogu se pojaviti i kao posledica primene neodgovarajuće recepture, njegove slabe unutrašnje konsolidacije ili spoljašnjeg zbijanja tokom ugradnje i sl. Iako među njima često postoji uzročno-posledična veza ipak su kao najznačajnije mogu izdvojiti one koje su generalno karakteristične za velike mase nearmiranog betona ugrađenog na relativno malom prostoru tj. one koje se javljaju usled *skupljanja betona*, a posebno one nastale usled *temperaturnih razlika* u površinskom sloju betona ili duboko u samoj masi betona usled prirasta i akumulacije hidratacione toplote

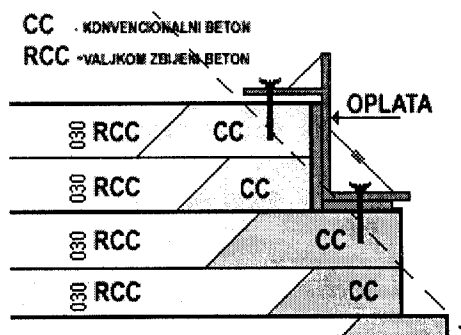
Zbog osobenosti RCC mešavine i njenih toplo-fizičkih karakteristika opasnost da dođe do pucanja betona usled *temperaturnih razlika* je značajno manja nego kod brana od konvencionalnog betona. Međutim, sama tehnologija i ekonomika izgradnje ovu pojavu čine nezanemarljivom. Naime, iako se za kontrolu pucanja RCC betona usled temperaturnog gradijenta mogu vrlo efikasno koristiti *radne spojnice*, one se svesno izbegavaju ili se njihov broj minimizira i koriste se *široki prostorni spojevi*. Razlog tome je želja da se izbegnu potencijalni prekidi u proizvodnji, a time i istovremeno smanje troškovi izgradnje. Na taj način iako slojevita izgradnja dodatno smanjuje dimenzionalnost problema konduccionog prenosa toplote u toku same izgradnje i pogoduje primeni najidealnijeg matematičkog oblika rešenja, ipak se stvaraju uslovi za pojavu nekontrolisanog toplotnog režima u telu brane, rezultujućih napona zatezanja i pucanja betona: (1) tokom procesa izgradnje pogotovu u slučaju temperaturnih skokova, brzog hlađenja površinskog sloja betona i započetog površinskog pucanja ili (2) znatno kasnije usled prirasta hidratacione toplote unutar betonske mase (Sl.1.)

Ukoliko se pak ide na varijantu sa upotrebom još posnijih mešavina ova pucanja mogu biti mala i zanemarljiva, ali će zato vodopropustljivost očvrslag betona biti izraženija tj. može se direktno pojačati procedivanje i curenje.



Slika 1. Kriva prirasta hidratacione toplote betona trenutno najveće RCC brane na svetu -Tha Dan Canal sa $5.5 \times 10^6 \text{ m}^3$ betona (još uvek se nalazi u fazi gradnje)

B.2. Spojevi u telu brane Izuzimajući mesta neposrednog kontakata RCC i konvencionalnog betona, i strukturalnih diskontinuiteta - objekata u telu brane, kao i grešaka na izradi konstruktivnih spojnica, radnih spojnica i sličnih razdelnica u betonskoj masi, opasnost curenja je posebno velika na mestima etažnih spojeva tj. horizontalnih spojeva između ciklusa plasiranja betona. (Slika br. 2)



Slika 2. Izgradnja RCC brana od kombinovanog betona: Karakteristični presek sa spojevima

Razlog tome je stalna mogućnost da još u toku same gradnje na tim mestima dođe do izdvajanja i segregiranja krupnog agregata i na taj način formiranja diskontinuiteta između slojeva, posebno ako se radi o posnoj RCC mešavini tj. ako je Vebe vreme $> 30 \text{ sec}$ (beton "*slabo vlažnan kao zemlja*"). Na drugoj strani, prisustvo blata, zemlje, krhotina i sličnih nečistoća koje se u toku same gradnje posredstvom mehanizacije nanese na mestima horizontalnih spojeva i koje narušavaju monolitnost spojnih površina dodatno uvećavaju stepen curenja. Pri svemu tome ne treba zaboraviti da kvalitet tih veza, koje primarno kontrolišu

napone smicanja (tj. zbirnu vrednost kohezije i trenja), istovremeno određuje i ukupnu jačinu brane.

Zato, posmatrano i sa aspekta vodonepropustljivosti konstrukcije i sa aspekta njene jačine, spojne površine između ciklusa plasiranja betona tj. između horizontalnih sekcija ili etaža predstavljaju kritični deo svakog projekta RCC brane.

Kvalitet ovih spojeva, a time i rešenja ovog dela problema curenja zavisi prvenstveno od: (1) uslova na površini prethodno ugrađenog betona (površina mora biti dovoljno vlažna i čista), (2) vreme zastoja između ciklusa plasiranja tj. između horizontalnih etaža (donji sloj ne sme da se ohladi i da počne sa vezivanjem pre nanošenja narednog sloja), (3) zbijanja novonanešene RCC mešavine i (4) njene konzistencije.

C. PRIMENJENI I MOGUĆI NAČINI KONTROLE CURENJA RCC BRANA

Smanjenje količine vode koja prođe kroz telo brane i njeno dovodenje u dozvoljene okvire se može izvršiti: izborom adekvatne mešavine, njenog sastava, plasiranja, ugrađivanja i negovanja, izgradnjom internog drenažnih sistema, nanošenjem odgovarajućih plastičnih maltera ili betona respektivno po celom spoju ili duž spojne površine uzvodnog dela, ugradnjom vodonepropustnih prepreka i materijala, a i zaptivača mahom u telo brane, izradom ekrana od različitih fleksibilnih betona i masa sa sintetičkim ili organskim vezivima, oblaganjem uzvodnog lica brane raznim nepropusnim panelima, pločama ili folijama, kao i kombinovanom primenom nekih od navedenih mera.

C.1. RCC mešavina. Sa aspekta vodonepropustljivosti najvažnija osobina RCC mešavine je *konzistencija* koja je istovremeno i pokazatelj stepena njene obradljivosti.

Iako valjkom zbijeni betoni po svojoj konzistenciji pripadaju samo grupi vlažnih betona bolju vezu daju i bolju zaptivenost pokazuju obradljivije tj. *masnije mešavine* (Vebe vreme < 30sec) nego *posne*, (Vebe vreme >30 sec) kod kojih segregacija i/ili nekompletno zbijanje ne retko rezultira u pojavi šupljina na spojevima horizontalnih sekcija.

To je i glavni razlog kombinovane primene valjkom zbijenog betona i konvencionalnog betona za gradnju RCC brane, pri čemu se CC koristi za izradu lica ili spoljnih delova brane, a RCC kao ispuna. (U takvim

slučajevima, zbog postizavanja što kvalitetnije veze, iako se prvo nanosi CC, a potom RCC masa, vibriranje CC mešavine se obavlja tek posle završetka zbijanja RCC mešavine). Istovremeno, to je i razlog kompletnog korišćenja masnijih RCC mešavina sa više cementa i napred spomenutog "zalivanja" vezivom ugrađene mešavine u cilju popunjavanja pora, ali takode i najvažniji razlog izmena principa originalne RCC tehnologije (GE, RCD i sl.).

Zbog svega toga uspostavljanje željene obradljivosti predstavlja kritični deo svakog projekta RCC mešavine, isto onako kao što tretman spojne površine između ciklusa plasiranja betona predstavljaju kritični deo svakog projekta RCC brane.

U sklopu toga vredi i napomenuti da je kod RCC mešavine, pored Vebe vremena, za njenu nepropusnost vrlo važan i sadržaj peska, krupnoća agregata, kao i tip i sadržaj vezivnih materijala.

C.2. Drenažni sistem. Obzirom da se kod RCC brana radi o masivnom, a istovremeno i nearmiranom betonu pojava pukotina nastala skupljanjem betona je neminovna, čime se, pored procedivanja kroz RCC masu, otvara još jedna mogućnost za prolaz vode, koja je proporcionalna sa visinom brane tj. visinom vodenog stuba u akumulaciji. Ona se kontroliše izgradnjom internog drenažnog sistema, koji zbog prisutne mase betona značajno ne redukuju otpornost brane. Međutim, u RCC branama izgradnja drenažnog sistema, a posebno drenažne galerije, često uvećava vreme izgradnje i povećava troškove, zato što sâm RCC metod izgradnje u slojevima nije lako prilagodljiv takvoj konstrukciji.

Mogući *alternativni metodi* za smanjenje vremena su:

- (a) Upotreba *gotovih galerija* od prefabrikovanih MB segmenata - posebno u slučaju dugih galerija, ili
- (b) Ugrađivanje *oblikovanih nevezanih popuna* i njihovo iskopavanje, sa dodatnom obradom podova i zidova galerija posle očvršćavanja betona.

Jasno je da se time problem curenja RCC brana ne rešava, ali se zato, zbog smanjenja vremena izgradnje stiče dodatni preduslov za napredniji pristup problematici curenja RCC brana.

Doduše, i klasično redukovanje drenažnog sistema na meru neophodnu za smestaj opreme, manipulaciju i

merenje smanjuje vreme izgradnje, ali se time problem curenja u osnovi značajno ne pojednostavljuje.

C.3. Plastični betoni i malteri. Ova sredstva u principu imaju funkciju lepka, popune ili omotača. Za spremanje *plastičnih betona* se koristi agregat sa max krupnoćom zrna do cca 2cm ili manje, a za razliku od ranijeg postupka upotrebljavaju se isključivo za oblaganja na uzvodnoj strani u cilju smanjenje ukupne filtracije. Nanošenje se vrši do 1/3 širine spoja po celoj dužini brane.

Za spremanje *plastičnih maltera* se koristi duplo sitniji agregat tj. 1.0cm ili manje, a isti se nanose u sloju po celoj površini RCC, neposredno pre nanošenja sledećeg sloja betona. Obzirom da sadrže veliku količinu vezivnih supstanci (1.000 - 1.500kg/m³) oni na horizontalnim spojevima obavijaju zrna segregiranog materijala i čineći ga uniformnim mogu dvostruko uvećati otpornost na zatezanje i smičuće napone u spojnica, a sami ili u kombinaciji sa ekspanzionim materijalima mogu značajno umanjiti prolaz vode kroz horizontalne spojeve betonske mase. Međutim, upotreba plastičnih maltera stvara komplikacije u dinamičkom planu izgradnje što može oduzeti mnogo vremena i napora u izvođačkoj praksi, a time i povećati troškove izgradnje. Razlog tome je njihovo plasiranje koje se dešava obično istovremeno kad i plasiranje RCC mešavine i betona za oblaganje i to, na istom relativno skućenom prostoru.

Mogući alternativni metodi za rešenje ovog problema su:

- (a) Reduciranje plastičnih maltera (a time i kompaktnosti i monolitnosti betona u telu brane) tj., svesno odustajanje od povećanja vodonepropustljivosti tela brane, ali uz istovremeno povećanje kvaliteta vodonepropusne zaštite tj. obloge (rešavanje RCC problema ostaje u domenu principa RCC materijala)
- (b) Promena geometrije i sastava tela RCC brane (sa i bez posebnih mera smanjenja vodopropustljivosti)

C.4. Vodonepropustne prepreke i zaptivači. Kao vodonepropustne prepreke se koriste tanke *table od metala, gume, plastike ili drugog materijala* ubačene popreko formiranih diskontinuiteta da na tom mestu prepreče put prolaska vode. One su relativno efikasne kod najvećih curenja koja se dešavaju na razdelnicama pod uslovom da su propisno instalirane, a projektantski detalji ne dozvoljavaju mogućnost njihovog bajpasiranja. Najčešći razlog bajpasiranja od strane

vode je nedovoljna konsolidacija tj. zbijanje betona, ili pojava pukotina, oko prepreka. Njihova montaža sa spoljne strane spojeva je obično ekonomski neisplativa ili je zbog kvaliteta okolnog betona tehnički teško izvodljiva. Takođe i klasična upotreba zaptivača danas postaje sve manje svrsishodna.

C.5. Vodonepropusne obloge. Predstavljaju uobičajeno neki debeloslojni i vodonepropusni *sandwich sistem* zaštite uzvodnih strana brane, izrađen od: nekog vodonepropustljivog materijala (*membrane* i razni *fleksibilni betoni i mase* sa sintetičkim ili organskim vezivima) i njegove zaštite od oštećenja. U savremenoj svetskoj praksi izgradnje RCC brana primena fleksibilnih betona i masa u onom obimu kao kod drugih vrsta brana se i ne pominje tako da je sva pažnja skoncentrisana na primenu membrana ili preciznije - *geomembrana*. Njihovo ugrađivanje može biti posredno putem prefabrikovanih betonskih panela-oplate brane, kao unapred ugrađeni deo tih istih oplata, ili neposredno tj. direktno ugrađivanje na licu mesta.

U skladu tim se u okviru ove vrste zaštite uzvodne strane praktično mogu raspoznati *dva sistema*:

- (a) *kruti sistem* sa zatvorenim i zaštićenim membranama
- (b) *elastični sistem* sa slobodnim i uslovno nezaštićenim membranama.

Pri tome se elastični sistem danas sve efikasije i sve više koristi u kombinaciji sa najsavremenijim drenažnim materijalima postavljenih između membrane i tela brane, (tj. membrane i njene spoljašne obloge - ako postoji), a koji je istovremeno dodatno štite od mogućih oštećenja.

D. OSNOVNI PRINCIP ZAŠTITE OD CURENJA

Ne analizirajući problematiku curenja kroz fundament RCC brane - koja je skoro istovetna za sve betonske brane, tj. imajući u vidu

- samo problematiku curenja kroz telo vodopropusne RCC brane,
- navedene primenjene, kao i moguće metode za njeno rešavanje i efekte koji se postižu njihovom primenom,
- rezultate merenja (koji su potvrdili da su RCC brane sa najmanjim curenjima upravo one koje su izgrađene korišćenjem vodonepropusnih obloga na uzvodnoj strani i adekvatnom obradom RCC spojeva između horizontalnih etaža),

može se formulisati *najosnovniji princip* uspešne zaštite od curenja RCC brana, uz neophodno zadovoljenje osnovne ekonomske zakonitosti izloženog RCC-sistema gradnje, a to je: *sprečiti vodu iz akumulacije da uopšte izvrši direktni pritisak i posledično uđe u RCC masu, ali istovremeno i bilo koju vodu iz pravca fundamenta da se penje i prolazi kroz tu istu masu.*

Drugim rečima, radi se o jednom vrlo jednostavnom ovde prezentiranom načelu u skladu sa kojim se dalje sugerše:

- (a) kompletno poveravanje problema curenja RCC brana nepropusnim materijalima, a betonu stabilnost i otpornost konstrukcije na mehanička dejstva,
- (b) primena što ekonomičnije mešavine, sa »filovanjem« materijala, raznim ispunama, primenom nestandardne armature i još veće brzine izgradnje brana,
- (c) maksimalno korišćenje originalnog principa gradnje,
- (d) razumna promena i prilagođavanje oblika tela brane potrebama njene efikasnije zaštite

U daljem tekstu se u skladu sa tim preporučuju i rešenja dva aktuelna problema zaštite od curenja RCC brana:

- (1) izbor najefikasnijeg sistema vodonepropusne zaštite čije generalno rešenje je uvedenim gornjim principom razdvajanja funkcija unapred određeno - to mora biti neki *omotač*,
- (2) izbor njegove najefikasnije spoljašnje zaštite - to mora biti neka potrebno debela tj. dovoljno otporna *kruta* ili, ono što se sugerše ovim radom, *kruto - fleksibilna zaštita*.

No, bez obzira koja moguća varijanta napred definisanog omotača da se razmatra, skoro sve one će se ipak zasnivati na korišćenju nekih od postojećih ili inovativnih tipova membranskih omotača ili preciznije - *geomembrana*.

E. IZBOR OMOTAČA - GEOMEMBRANE

Nagli razvoj industrije plastičnih materijala i vrlo visoki kvalitet njenih proizvoda doveli su danas do toga da su razne fleksibilne polimerne obloge, folije, kao i strukture od polimernog materijala, respektivno potisnule mnoge klasične i uslovno nepropusne građevinske materijale, i čvrste konstrukcije ili

konstruktivne sklopove i delove. Sve one pripadaju porodici geosintetičkih materijala koju po danas već zastareloj podeli (još iz 1997.) sačinjavaju:

- (1) *geomembrane* (danas su to već fleksibilne, trajne, praktično vodonepropusne i hemijski izuzetno otporne jedno- ili višeslojne folije različitih debljina, teksture i rapavosti, sa i bez armature, izrađene od termo-plastičnih polimera različitih gustina postupkom ekstrudiranja, a koje se skoro bez izuzetaka primenjuju kao vodonepropusne barijere u skoro svim oblastima savremenog građevinarstva)
- (2) *geotekstilni kompoziti* (geotekstil najčešće obostrano presvučen tankim slojem polipropilena (PP) ili tanak sloj polietilena (PE) obostrano pokriven geotekstilom - koji se zajedno sa PVC, CSPE i PP - membranama vrlo uspešno koriste kod sanacije i zaštite betonskih, nasutih i zidanih brana)
- (3) *geosintetičke glineno-bentonitne obloge* (suvo glinovito-bentonitno tj. apsorbujuće-ekspanziono tlo na razne načine obostrano zaštićeno i spojeno sa geotekstilom ili zalepljeno na geomembranu)
- (4) *ravno impregnirani geotekstil* (geotekstil, obično netkan, impregniran asfaltom, elastičnim bitumenom, asfaltnim emulzijama ili nekom vrstom polimera u raznim kombinacijama)

Obzirom da ta uska podela više odgovara geotekstilima, a manje geosinteticima, to se mogu pridodati i:

- (5) tkane *geomreže*, termički spajane *georešetke*, ekstrudirani *georoštilji* (PP, PEHD, PES, PVA, AR) i potencijalno nove konstrukcije nastale od njih,
- (6) *prostorne polimerne strukture* (duboke georešetke, zatvorene trakaste ćelije, sačaste strukture i sl.)
- (7) svi proizvodi sličnog sastava i namene, ali izrađeni na licu mesta tj. na gradilištu

Među njima su već sada geomembrane postale ne samo široko korišćeno, već dobrim delom i jedino praktično prihvatljivo sredstvo za oblaganje uzvodnih strana RCC brana.

E.1. Definicija. Pod pojmom »*geomembrana*«, a u skladu sa teško održivom definicijom Međunarodne komisije za velike (ili tzv. »visoke«) brane, se oficijelno podrazumevaju pre svega polimerne membrane sačinjene od fleksibilnog, vodonepropusnog materijala debljine od jednog do nekoliko milimetara (*ICOLD 1991*). Na drugoj strani *ASTM D4439* nešto bolje

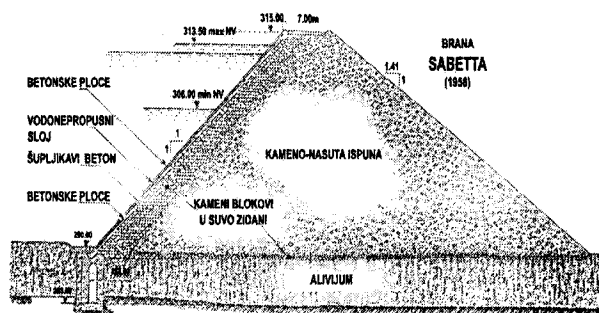
definiše geomembrane kao: Vrlo slabo propustljivi sintetički membranski omotač ili barijeru koja se koristi u kombinaciji sa bilo kojim geotehničkim materijalom u cilju kontrole prolaska fluida kod veštačkih tvorevina, konstrukcija ili sistema. U stvari, geomembrana predstavlja ništa drugo nego *specijalno izradenu nepropusnu foliju od polimernih materijala koja se koristi za hidroizolaciju objekata.*

E.2. Materijal za izradu. Danas najprihvatljiviji materijali od kojih se izrađuju geomembrane za upotrebu kod betonskih i RCC brana su čvrsti ili plastificirani polietilen visoke gustine (PEHD) i plasificirani i stabilizirani polivinil hlorid (PVC). U upotrebi je i polipropilen (PP), poliester (PES), kao i polietilen niske gustine (PELD). Drugi sintetički materijali od kojih su se neki do skoro, kod zidanih i betonskih brana, vrlo uspešno primenjivali, a neki nisu nikada, su CSPE (hlor-sumpor polietilen), IR (butil ili poliizobutilen), EPDM (etilen propilen dien monomer), CPE (hlorirani polietilen), PEVLD (polietilen vrlo niske gustine), i sl. - iako razlog njihovog neprimenjivanja nije uvek bio tehničke prirode.

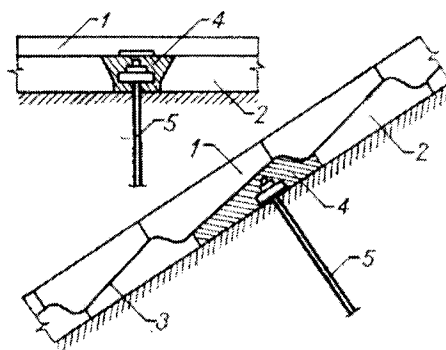
F. PRIMENA GEOMEMBRANA KOD RCC BRANA

F.1. Prve geomembrane kod brana. Prva geomembrana kao vodonepropusna barijera kod brana je ugrađena 1959. u Italiji na brani *Sabetta* (Kontrada-Sabetta). Inače, brana visine 32.5m, širine u kruni 7.0m, je izgrađena kao nasuta od kamenog nabačaja i šljunka sa 6.4m debelim slojem ilovače u nožici i sa u suvom zidanom kamenom oblogom na uzvodnoj strani. Geomembrana je sačinjena od dve IR folije (poliizobitulen ili opanol folije) debljine od po 2mm, ugrađenih u sandwich sistemu na uzvodnom licu brane nagiba $H/V=1:1$. Postavljene su na sloju šupljikavog betona debljine 10cm preko armirano-betonskih ploča (7x7x0.25m) i dodatno zaštićene sa bitumeniziranim kartonom i betonskim pločama (2x2x0.2m) (Slika 3.).

Godinu dana kasnije, 1960, u Čehoslovačkoj na brani *Dobšina* je ugrađena prva PVC (polivinilhlorid) geomembrana kod brana, debljine 1.1mm, takođe u sandwich-sistemu između dva sloja talasasto spojenih betonskih ploča i zalivenih bitumenskim mastikom. Geomembrana je postavljena na uzvodnoj strani brane nagiba $H/V=1.5:1$. pruz čemu je prvi sloj ankerima pričvršćen za telo brane (Slika 4.).



Slika 3. Poprečni presek brane Sabetta u Italiji



Slika 4. Poprečni presek obloge bran Dobšina

Iste godine je i K.Tercagi (K.Terzaghi) u Britanskoj Kolumbiji ugradio PVC membranu debljine 0.75mm na uzvodnoj strani koso postavljenog glinenog ekrana u cilju poboljšanja projektnog rešenja brane *Mission* visoke 61m (sada brane *Terzaghi*). Slabo propustljiva geomembrana je instalirana da potpomogne konsolidaciju i smanji ukupnu propustljivost glinenog ekrana. Ugrađena je u nagibu $H/V=3.8:1$ i zaštićena slojem gline, peska i konačno lomljenog kamena ukupne debljine do 2.0m.

Prva poznata primena *polietilena (PE)* kod brana, datira iz 1963. To je učinjeno tokom popravke 26m visoke brane *Mast* u Kaliforniji. Centralni i najviši deo nove nepropusne barijere urađen je sa 3 naknadno dodatih, 0.15mm debelih, PE geomembrana, dok je jedna 0.75mm debela PVC geomembrana upotrebljena za donji deo brane.

F.2. Dalji napredak. Iz tog vremena datira i prva primena *PE kod novih betonskih brana*. Zbog veće otpornosti PE na dejstvo niskih temperatura u odnosu na PVC (-70 °C i -20°C, respektivno) 1964. su od strane ruskih inženjera, bez većeg publiciteta van SSSR-a,

izgrađene neke interesantne eksperimentalne brane, sa ugrađenim PE geomembranama, u regionima SSSR-a sa vrlo niskim temperaturama. Iste godine su, inženjeri odeljenja za polimerne materijale Hidroprojekta (*НИИ Гидропроект*), započeli primenu kod gravitacionih betonskih brana hidroizolacionih obloga na bazi *geotekstila od staklenih vlakana u katran-epoksidnim smolama*, a potom i primenu varijante korišćenjem *penoepoksidnih materijala* kod hidrotehničkih konstrukcija. Naredno korišćenje polimernih materijala u tadašnjem SSSR-u je bilo vezano za njihovo direktno nanošenje u cilju sprečavanja proceđivanja kroz porozne betone ili su ovi materijali inovativno ugrađivani u prefabrikovane betonske blokove za oblaganje masivnih brana. To su istovremeno i prvi primeri ugradnje *zaštićenih membrana na novim branama* putem korišćenja *prefabrikovanih betonskih elemenata*.

F.3. Elastični nezaštićeni geomembranski sistem.

Koristeći se iskustvima stečenim 1969. prilikom ugradnje *kompozitne PIB-PVC (poliizobutilen-polivinilhlorid)* geomembrane u nožici 53m visoke brane *Verde* izgrađenoj od kamenog nabačaja i fundiranoj na stišljivom tlu, u Italiji je 1970. godine ugrađena prva geomembrana na masivnim branama izgrađenih od »tvrdog materijala«. Membrana od poliizobutilena (PIB) debljine 2mm je ugrađena i potpuno prekrila uzvodnu stranu 37m visoke višelučne od kamena u cementnom malteru zidane brane *Baitone*, izgrađene još 1930.godine.

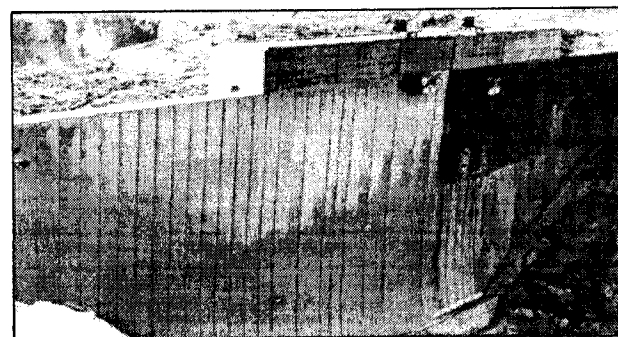
Isti metod je primenjen i 1974. godine na 65m visokoj kontraformnoj brani *Pantano (Pantano D'Avio)*. Pričvršćivanje vodonepropusnog omotača na uzvodnoj strani brane je posle dugotrajnih priprema površine uspešno izvršeno lepljenjem, ali je preveliko izlaganje membrane UV zracima i temperaturnim promenama dovelo do njenog propadanja, tako da je najzad zamenjena sa PVC membranom. Izuzimajući neka oštećenja nastala udarom leda, koja su brzo i lako sanirana, nova PVC membrana se u narednih 20 godina pokazala kao vrlo efikasno sredstvo zaštite brane od curenja.

Međutim, dublja analiza sa laboratoriskim istraživanjima te problematike, inicirana kasnijim vrlo lošim iskustvima na gravitacionim betonskim branama - čija sanacija je izvršena po istom sistemu, kao i prethodnih dveju brana - je pokazala da jedan od osnovnih uslova efikasne zaštite korišćenjem nezaštićenih geomembrana leži u obezbeđenju *dreniranja bilo kojih voda ili vodene pare*, koje se po bilo kom osnovu mogu naći između tela brane i membrane. Drugim rečima, porozna struktura zidanih brana ili

betona sa mrežom pukotina koja rasterećuje pritiska membranu iz pravca brane i koja dozvoljava sistemu »da diše« više pogoduje metodi nezaštićenih membrana usidrenih u telo brane, nego neporozna masivna struktura.

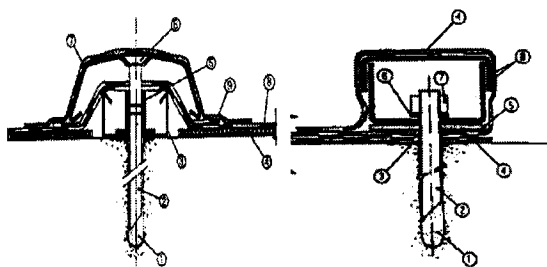
Nedugo zatim, 1976. u Italijanskim Alpima na 2.170m nadmorske visine, ugrađena je PVC membrana na 11m visokoj zidanoj brani *Miller* sa poboljšanim sistemom pričvršćivanja membrane i zaptivanja perimetralne fuge. Sprovedena ispitivanja otpornosti geomembrane na dejstva okruženja, a posebno na dejstva UV zračenja su pokazala njenu zadovoljavajuću otpornost .

Prvi uspešni pokušaj oblaganja uzvodnog lica brane *geokompozitom* je učinjen na betonskoj gravitacionoj brani *Nero* visokoj 43m i izgrađenoj 1929. na istoimenom jezeru kraj Bergama u Italiji. Geokompozit je ugrađen 1980. godine posle niza neuspešnih pokušaja (injektiranje na delu temeljne spojnice, torkretiranje kompletne uzvodne strane) da se zaustavi prolaz vode kroz telo brane i fundament, niti da se trajno zaustavi propadanje betona usled agresivnog dejstva vode i ciklusa zamrzavanja i odmrzavanja. Montaža je izvršena putem pokretnih platformi od krune ka temelju, sa preklapanjem traka i varenjem po celoj dužini pre horizontalnog natezanja.



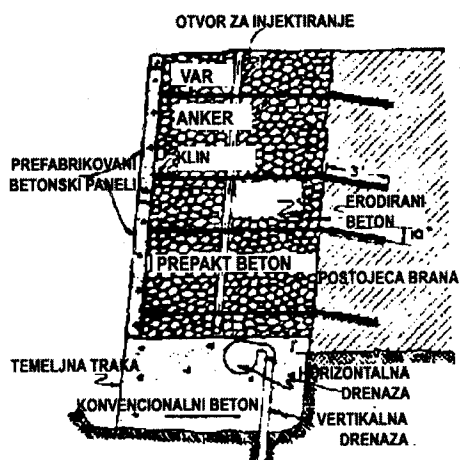
Slika 5. Uzvodna strana Nero brane pre i posle oblaganja sa geokompozitima

Fiksiranje geokompozita je izvršeno čeličnim profilima, a sidrenje donjih krajeva traka je izvedeno u nožici brane korišćenjem metalnih ploča. Ugradnjom geokompozita proceđivanje je smanjeno sa 50l/sec na 0.27l/sec sa samo 14% prolaza te količine kroz geokompozit.



Slika 6. Jedan od patentiranih načina pričvršćivanja geomembrana: a) detalj otvorenog drenažnog profila; b) detalj zatvorenog profila

F.4. Kruti bezmembranski pokušaji kod RCC brana. Prve brana u SAD-u, na kojoj je primenjen RCC postupak gradnje, brana *Erl Creek*, je zapravo građena kombinacijom RCC postupka u niskogradnji i klasičnog postupka gradnje masivnih betonskih brana putem korišćenja različitih marki betona.



Slika 7. Brana Barker - Jedan od prvih primera korišćenja prefabrikovanih betonskih panela

Koristeći se tim iskustvom sa istovremenom ugradnjom RCC mešavine i obloge od konvencionalnog betona u oplati, a po ugledu na metod primenjen 1947. na brani Barker (Sl.8) prilikom izgradnje RCC brane *Willow Creek* (1980-1984), visoke 49m (Sl.9.), upotrebljeni su

usidreni betonski paneli sa funkcijom oplate u toku same gradnje.



Slika 8. RCC brana Willow Creek - Izgled prvih bezmembranskih betonskih panela

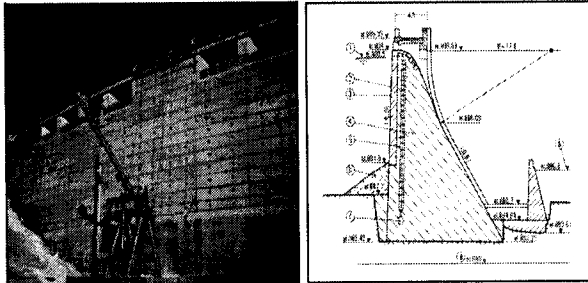
F.5. Zaštićeni kruti sistemi. Nedugo zatim, a slično i nezavisno od znatno ranije primenjenim sistemima zaštite betonskih brana u SSSR-u, u SAD-u je prilikom gradnje RCC brane *Carrol E. Eston* 1984/1985 u Winchester-u (Kentucky) po prvi put upotrebljen *poboljšani sistem oblaganja*, takođe od prefabrikovanih betonskih panela, ali sa prethodno ugrađenom geomembranom. Kao takav, on je kasnije i patentiran kao »*Winchester metod*« koji se sastoji u postupku ugrađivanja PVC ili druge membrane u prefabrikovane betonske panele (Slika 9.). Sâm sistem montiranja geomembrana počiva na pričvršćenju njihovih ojačanih delova-izbočina putem ankera i vodozaptivnih spojki za panele, oblikovane tako da se lako montiraju, i međusobnom spajanju putem varenja po celoj dužini.



Slika 9. RCC brana Carrol E. Ecton - Montaža prvih membranskih betonskih panela za oblaganje

Inače, koncepcijski sličan, ali doduše i *inovativni princip oblaganja* korišćenjem prefabrikovanih ARMB-panela, sa slojem vodonepropusnog i elastičnog materijala u

sandwich sistemu, je vrlo efikasno i inovativno iskorišćen ove godine za *rehabilitaciju postojećih brana* (Sl.10.).



Slika 10. Naknadna zaštita polimernim betonom i MB panelima zidane brane Carlsfeld

F.6. Dalji razvoj nezaštićenih elastičnih sistema. Sličan sistem uspešne zaštite, kao kod brane *Nero* u Italiji, iskorišćen je i znatno kasnije 1992. u Portugalu na 65m visokoj betonskoj kontraformnoj brani *Pracani* na reci Ocreza, čije pucanje se desilo neposredno posle izgradnje dovodeći tako do curenja na nizvodnom delu brane. Obzirom da pokušaj sanacije pukotine upotrebom *injekcionih masa* nije doneo trajno rešenje, ponovo je iskorišćen *geokompozit* pri čemu je dodatna *geomreža od PEHD-a* upotrebljena u cilju povećanja sposobnosti geomembranskog sistema da drenira iz tela brane vlagu i bilo kakvo proceđivanje kroz beton kao i da se prilagodi pojavi novih pukotina u telu brane. Sistem je podeljen u 6 nezavisnih sekcija iz kojih se drenirana voda odvodi cevovodima do mernih uređaja što omogućava poboljšani monitoring drenaža iza geomembrane.

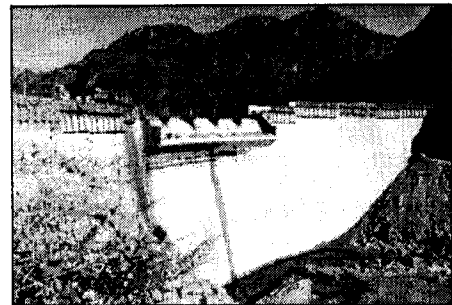
Godinu dana kasnije, 1993, na 27m visokoj od kamena zidanoj brani *Camposecco* upotrebljen je veoma debeli *neprobodni i propusni geotekstil* koji je omogućio instalaciju membrane preko vrlo grube i katranom obložene površine lica brane, bez potrebe ekstenzivne pripreme površina.

Nedugo zatim, 1994. u cilju zaštite od procurivanja ugrađena je geomembrana i na RCC brani *Alpe Gera* u Italiji, visokoj 174m u sklopu radova na njenoj sanaciji.

F.7. Dvonamenska primena elastičnog sistema kod RCC brana. Iako je kruti sistem zaštite putem prefabrikovanih betonskih panela sa ugrađenim geomembranama razrađen i patentiran za primenu kod novih, a elastični i uslovno nezaštićeni sistem za

primenu mahom kod već izgrađenih brana, sve češće se ovaj drugi primenjuje i kod novih brana.

Tako naprimer, u Francuskoj je 1990. na RCC gravitacionoj brani *Riou* na istoimenoj reci, visokoj 30m (22m) primenjen elastični sistem sa 2.5mm debelom geomembranom od PVC-a instaliranoj tokom izgradnje. Isti sistem je primenjen i 1990. na novoj 70m visokoj RCC brani *Concepcion* u Hondurasu, a i 1996. na 55m visokoj RCC brani *Nacaome*, takođe u Hondurasu.



Slika 11. Brana Wenquanpu: projektantski izazov Hebei instituta sa kombinovanim zaštitom od curenja

Jedna od vrlo interesantnih konstrukcija, lučna RCC brana sa jednostrukom krivinom *Wenquanpu* u Kini, visoka 48m i izgrađena u periodu 1991-1994. je zaštićena od curenja geomembranskim sistemom i dodatnim postupcima, a na danas najvišoj RCC brani u Severnoj Americi *Olivenhain*, visokoj 94m i započetoj 2000. godine takođe je ugrađena PVC geomembrana. Isti slučaj je i sa novom RCC branom *Miel 1*, u Kolumbiji, visokoj 192m, u vreme čije izgradnje, sredinom 2001. je već bilo oko 200 brana koje su ugradnjom geomembrana rešavale problem curenja.

F.8. Mogućnosti podvodne ugradnje. Bez obzira o kom sistemu je reč geomembrane se uobičajeno montiraju na suvo po završetku gradnje, u toku gradnje ili po pražnjenju akumulacije. Međutim, pražnjenje vrlo velikih akumulacija je u praksi neprihvatljivo, bilo zbog same njene veličine, velikih finansijskih izdataka, skućenih mogućnosti na terenu, ili zbog ekoloških razloga očuvanja životne sredine, kao i mogućih problema i udara izazvanih rasterećenjem i ponovnim opterećenjem brane i korita akumulacije. U tom slučaju jedino rešenje su podvodni radovi tj. podvodna ugradnja geomembrana.

Prva inicijalna istraživanja na tu temu su započeta 1993. (projekat *U.S. Army Engineer Waterways Experiment*

Station, Vicksburg, U.S.A.) za izbor sistema, a potom i za njegovu primenu pod vodom. Primena dobijenih rezultata istraživanja je izvršena 1994. u Portugalu, a nedugo zatim je 1997. na brani *Lost Creek* u Sev. Kaliforniji podvodno ugrađen kompletan vodonepropusni PVC sistem sa *geomembranom* i *geokompozitom*. Od tada pa do danas, tehnika sanacije i ugradnje geomembrana pod vodom je toliko napredovala da je postala uobičajeni deo aktivnosti mnogih izvođačkih firmi koje se bave ugradnjom geomembrana.

F.9. Rezime osobina današnjih geomembra. Opisani razvoj geomembranskog sistema, kao sistema nepropusne zaštite uzvodnih strana RCC i sličnih brana, tekao je u skladu sa potrebama prakse, i zahvaljujući tehnološkim unapređenjima stigao dotle da sasvim sigurno današnje geomembrane zadovoljavaju napred spomenuti uslov postojanja najefikasnijeg vodonepropusnog i monolitnog omotača koji štiti branu od curenja jer poseduje:

- (1) potrebnu vodonepropustljivost i dugotrajnost;
- (2) sposobnost jednostavne i brze ugradnje, kao i smanjenja troškova izgradnje;
- (3) sposobnost da se fizički i estetski prilagodi obliku objekta, kao i da zajedno s njim radi tj. ydišeü;
- (4) otpornost na dejstvo bilo kog pritiska vode;
- (5) otpornost na kidanje, posebno na mestima preloma i fiksiranja;
- (6) otpornost na mehaničke udare od normalno prisutnih plivajućih predmeta, talasa i dejstva leda;
- (7) otpornost na uobičajeni vandalizam
- (8) otpornost na moguća dinamička tj. seizmička dejstva;
- (9) sposobnost premošćavanja spojeva između ciklusa plasiranja betona i kontakata sa CC-elementima;
- (10) izuzetnu sposobnost premošćavanja novih prslina ili otvaranja postojećih naprslina, pukotina i razdelnica;
- (11) otpornost na visoke i niske temperature, velike temperaturne razlike i UV zračenja;
- (12) dodatnu otpornost na agresivna hemijska dejstva,

što nije karakteristika ni jednog do sada sistema oblaganja. Pored toga što porozna struktura valjkom zbijenog betona pogoduje njegovoj primeni istovremeno je omogućena dehidracija i filtriranje vode, moguće smanjenje uzgona, zaštita od zamrzavanja i odmrzavanja, kao i laka kontrola i

održavanje tj. *monitoring* celog sistema. Normalno, ove osobine predstavljaju zbirne karakteristike koje ne važe u potpunosti i ponaosob za oba geomembranska sistema.

G. KOMPARATIVNE PREDNOSTI I MANE

G.1. Zaštićeni kruti sistem. Prednosti krutog sistema sa zaštićenom geomembranom leže u:

- (1) njegovoj većoj kompaktnosti i sadejstvu sa telom brane pre, tokom i po završetku gradnje,
- (2) »klasičnosti« i uslovnoj »sagledivosti« pojave kojoj su više naklonjene iskusnije generacije graditelja brana naviknutih da grade ono što trajeü,
- (3) većoj otpornosti na pojedine uticaje i nagle promene iz okruženja, UV zračenja, mehaničkog oštećenja,
- (4) mogućnosti korekcije i primene duplih zaštita u toku same gradnje, kao i kasnije nadogradnje sistema

Međutim, oštećenja koja nastaju tokom ili po završetku gradnje ne mogu lako i ekonomično biti locirana, a opravke su veoma teške, skupe pa ponekad i neizvodljive - pogotovu ako akumulacija ne može biti ispražnjena.

G.2. Nezaštićeni elastični sistemi. Na drugoj strani, prednosti sistema sa nezaštićenom geomembranom su u:

- (1) njegovoj jednostavnoj, lakoj i brznoj montaži, lakog detektovanja i popravke bilo kog kvara na omotaču koji se može dogoditi tokom samog procesa ugradnje ili kasnije eksploatacije i održavanja,
- (2) mogućnosti lakog prilagođavanja svim geometrijskim oblicima u cilju kompletne zaštite tela brane, sa uključenjem svih diskontinuiteta i razdelnica,
- (3) zaštiti brane od procednih voda, kao i
- (4) mogućnosti instalacije pod vodom bez stvaranja poremećaja u eksploataciji akumulacije, zadovoljenju danas sve strožijih ekoloških zahteva, neremećenja nizvodnih uslova korišćenja vode i okolnog terena

G.3. Dalji tok. Imajući sve to u vidu, izuzetno brzi razvoj geosintetika i sadašnje stanje na tržištu, vrlo lako može se desiti da elastični sistem potisne kruti, kao i da se sve spoljne zaštite kod brana izvode jednostavnim

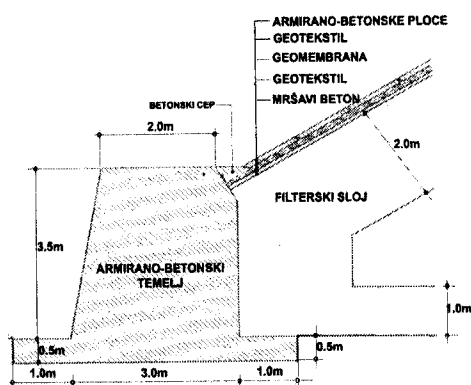
obavijanjem tj. omotavanjem tela brane zaštićenim geosinteticima podeljenim u segmente, a da se modifikovani kruti sistemi pre svega koriste u obliku raznih oplata za izgradnju novih brana ili za zaštitu postojećih brana od posebne vrednosti.

H. IZBOR ZAŠTITE OMOTAČA - KRUTO FLEKSIBILNA SAČASTA STRUKTURA

Današnji razvoj polimernih materijala je toliko daleko otišao i takvom strateškom brzinom, diktiranom od strane »najrazvijenijih« zemalja sveta i vrlo jakih lobija se kreće da problem izrade geomembrana dodatno potrebnih karakteristika se u principu i ne postavlja o postavlja se problem njihove ekonomičnosti. Kod RCC brana u konačnom zbiru troškova, uštede i dobitaka cena takve geomembrane ne sme da bude veća od varijantnih rešenja.

S druge strane posmatrano, kada bi se sabrale potvrđene prednosti i jednog i drugog razmatranog sistema dobio bi se neki novi sistem izuzetne otpornosti sastavljen od geomembranskog kompozita zaštićenog krutim betonskim oblogama koji se pod svim uslovima lako prilagođava, ugrađuje i održava.

Trenutno *najsavremeniji oblik* takvog pokušaja zaštite je principijelno ista zaštita kao iz 60-ih godina, ali sa primenom geomembranskog kompozita. (podloga + sloj geotekstila + geomembrana + geotekstil + betonska zaštita). Primer jedne takve kvalitetne zaštite je i kameno-nasuta brana Lošana kraj Delčeva (Sl.12.).



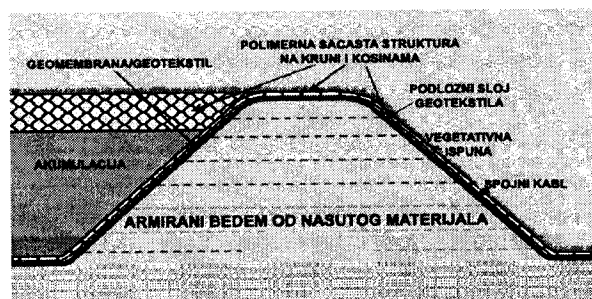
Slika 12. Brana Lošana: savremeni sistem zaštite

Međutim, bez obzira na sve svoje već potvrđene kvalitete ovaj sistem pored potrebne krutosti ipak ne

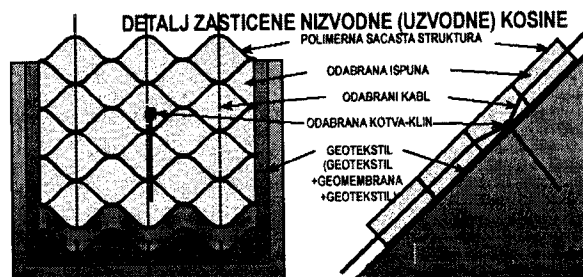
posедуje i potrebnu fleksibilnost tj. laku kompletnu prilagodljivost geometriji objekta, mogućnost jednostavne intervencije na njemu, kao i mogućnost jednostavnog i brzog oblaganja veoma strmih i vertikalnih lica brana bez dodatnih postupaka i ekonomskih izdataka.

Da bi se dobar deo tih problema prevazišao u okviru rada se sugerije korišćenje na licu mesta *polimernih PEHD struktura*, specijalne izrade koje u isto vreme imaju ulogu *omotača, oplata i fleksibilnih razdelnica* između ploča.

H.1.Kratki opis i način primene. Zamisao o mogućnosti upotrebe polimernih struktura u obliku sača sa zidovima od traka koje se zapunjavaju tlom kamenom ili nekim drugim čvrstim materijalom potekla je 80-ih godina za armiranje i stabilizaciju slabonosivih tla. Posle izvršenih istraživanja i doterivanja oblika pokazalo se da se mogu vrlo uspešno primeniti i za nadvišenja, fundiranje objekata izgradnju potpornih zidova ali i za zaštite kosina bedema i kanala (Sl.12.a. i 12.b.).



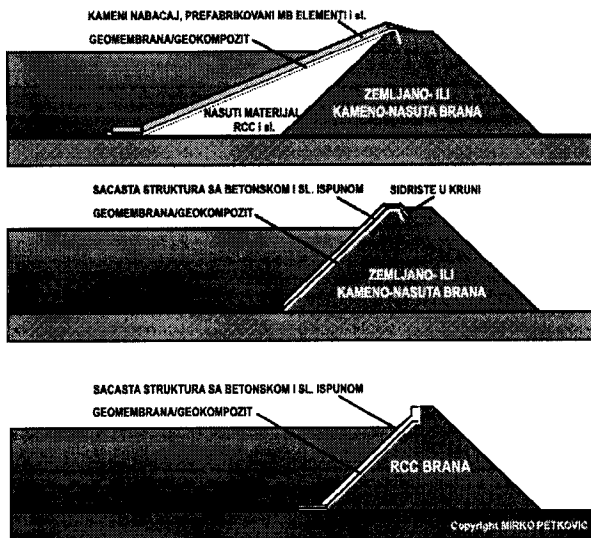
Slika 12.a. Izgled jednog savremeno armiranog i zaštićenog bedema-nasipa



Slika 12.b. Karakteristični preseki savremeno zaštićenog nasipa putem korišćenja PS-struktura

Krajem 1995-e sačaste strukture su u SAD-u preporučene i za zaštitu lica nasutih brana od zemlje i/ili kamena, a već 2000-e su postale klasični proizvod pojedinih firmi.

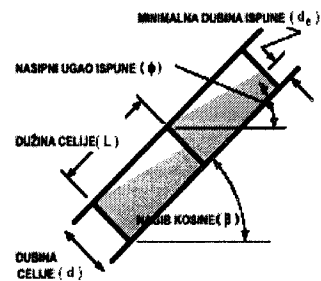
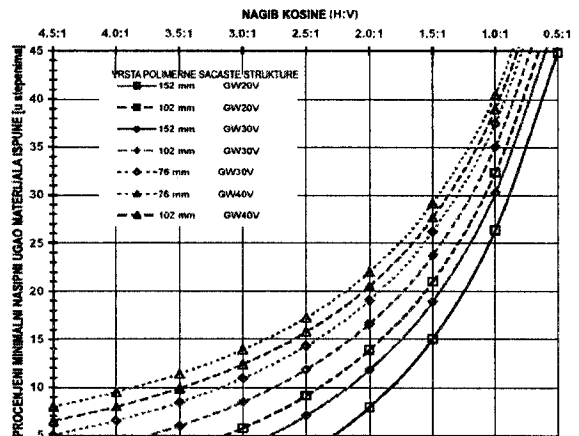
Njihova *ugradnja* je vrlo jednostavna i sastoji se u razastiranju i fiksiranju, a zatim popunjavanju »sača« odgovarajućim materijalom (tlo, kamen, beton i sl.).



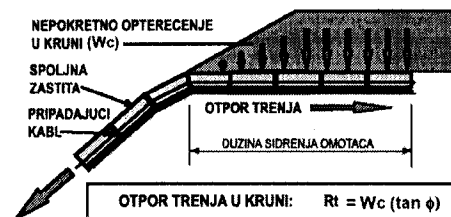
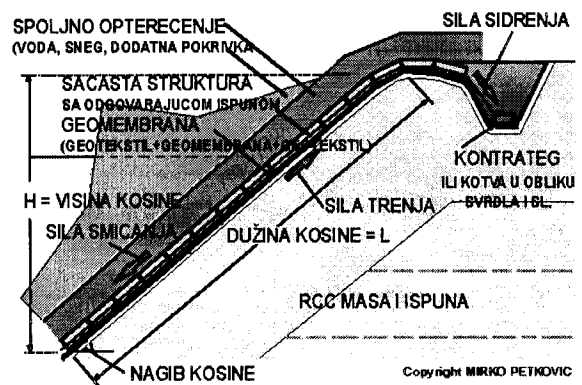
Slika 14. Zaštita uzvodne strane brane od curenja: a) Nasuta brana-klasično rešenje; b) Nasuta brana - savremeno rešenje; c) RCC brana - sugerisano rešenje

Iako primena polimernih sačastih i sličnih struktura kod betonskih i RCC brana još uvek nije aktuelizovana, karakteristike su ima takve da se mogu na skoro isti način ugrađivati i za iste svrhe koristiti kod rehabilitacije, ali i kod izgradnje novih gravitacionih brana (Slika 14.).

H.2. Dimenzionisanje. Kao i kod geomebrana postupak dimenzionisanja je vrlo jednostavan i sastoji se u izboru materijala ispune, vrste PS strukture i nagiba kosine - pri poznatim uslovima eksploatacije i karakteristikama onoga što se nalazi ispod ovog omotača (Sl. 15. i 16.).

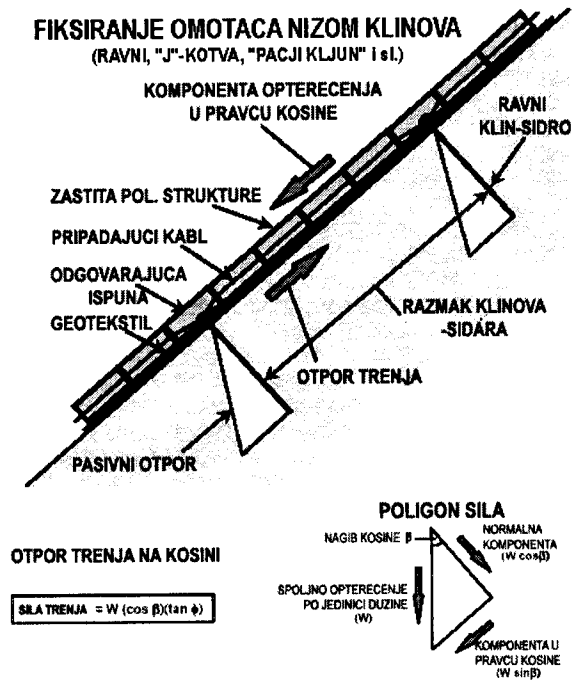


Slika 15. Dijagram za dimenzionisanje PS strukture



Slika 16. Sile i uticaji na kosini i kruni brane

Proračun sidara, ankera i kablova je klasičan ili se koriste gotovi softveri proizvođača sredstava za sidrenje (Sl. 18.)



Slika 18. Jednostavna proračunska šema sidara

H.3. Prednosti korišćenja PS-struktura. Prednosti se sastoje u mogućnosti:

- (1) brže, jednostavnije i ekonomičnije izgradnje tj.,
 - (2) lakšeg prilagođavanja geometriji objekta livenjem betonske ili bilo koje druge zaštite na licu mesta,
 - (3) nezalivanja spojnih površina između betonskih ploča,
 - (4) korišćenja najrazličitijih vrsta ispuna-zaštita omotača
 - (5) jednostavnije prepravke i popravke oštećenja nastalih tokom gradnja i eksploatacije objekta i sl.,
- pri čemu kod RCC, ali i svih ostalih brana mogućnost univerzalne primene ovih struktura limitirana jedino veličinom nagiba kosina brane (Sl.15.).

I. UMEMSTO ZAKLJUČKA - NASTAVAK

Međutim, adekvatnim izborom materijala i sastava ispune, načina njenog ugrađivanja, izmenom samog oblika sačaste strukture i sl. jedini problem

prezentiranog *zaštićenog elastičnog sistema* se može znatno ublažiti, a najčešće i prevazići.

Pored toga, obzirom da samo curenje kod RCC, a i drugih brana toliko problema stvara, u ovom radu se dodatno sugeriše i *razumna promena nagiba uzvodne kosine* RCC i sličnih brana koja najviše odgovara potrebama sistema zaštite od curenja (Sl.14.c.).

Takve promene istovremeno odgovaraju ne samo obliku brana sa *povećanom stabilnošću* tj. otpornošću na dinamička i seizmička dejstva, *potrebama sanacije i rekonstrukcije* mnogih postojećih brana (74.000 brana u svetu su u rizičnom stanju-stanje iz 2002.), već takođe i potrebama *savremene ekonomije* tj. brzine, obima i oblika kretanja kapitala, a većina *nedostataka* se nadoknađuju jeftinijim materijalom, boljom organizacijom i visokom tehnikom gradnje, koja kod RCC brana, kao i kod svih mogućih vrsta hidroizolacije strahovito grabi napred.

U tom slučaju opisani sistem zaštite od curenja RCC i uopšte gravitacionih betonskih i nasutih brana (i mnogih drugih objekata u hidrogradnji i niskogradnji) je rešenje vredno pažnje koje pored principa »jevtino + brzo = 2 x jevtino« zadovoljava i još jedan, a to je »fleksibilnost ili elastičnost« koja treba da je sinonim za otpornost, pa i trajnost mnogih struktura.

LITERATURA

- [1] AMERICAN CONCRETE INSTITUTE, *ACI Manual of Concrete Practice, ACI 116R, ACI 207.1R, ACI 207.5R*, American Concrete Institute, Detroit, MI
- [2] CAZZUFFI, D., "The use of geomembranes in Italian Dams", *Water Power & Dam Construction*, March 1987
- [3] De Groot, Den Hoedt, Termaat (eds)., *Geosynetics: "Applications, Design and Construction"*, 1996 Balkema, Rotterdam, ISBN 90 5410 836 3
- [4] DUNSTAN, MALKOLM R.H., "RCC dams (>15m)", *1997 Yearbook, International Water Power & Dam Construction*, Wilmington Business Publishing, Dartford, Kent, UK, pp. 108-115
- [5] EPI-Environmental protection, Underwater PVC installation, Vol. 2, Issue 1, 2002.

- [6] Garnier, G., Guérinet, M., Béton compacté au rouleau Le barrage du Riou (Hautes-Alpes), Travaux, May, 1991.
- [7] GLÄSER, E., and JÜNGEL, E., "Innovative Methods for the Renovation of Masonry Dams classified as Historic Monuments illustrated by the case of the Carlsfeld Barrage", ICOLD Dresden, Germany; 2001
- [8] HOLTZ, R.D., CHRISTOPHER, R.R., BERG, R.R., *Geosynthetic Engineering*, BiTech Publishers Ltd., Richmond, 1997, str. 373-389
- [9] Petković, M., "Upotreba valjkom zbijenog betona kod brana i hidrotehničkih konstrukcija", *Zbornik radova sa II Kongresa YUCOLD-a*, Kladovo 7-10 oktobar, 2003
- [10] Petković, M., "Upotreba geomembrana kod problema curenja RCC brana: Pregled stanja", *Zbornik radova sa II Kongresa YUCOLD-a*, Kladovo 7-10 oktobar, 2003
- [11] PRIȘCU, R., *Constructii Hidrotehnice - Vol. I*, Editura didactică și pedagogică, București, 1974, str.4
- [12] ПОЗАНОВ, Н.П. и др., *Гидротехнические сооружения*, Москва, Стройиздат, 1978.
- [13] ПОЗАНОВ, Н.Н., *Плотины из грунтовых материалов*, Москва, Стройиздат, 1983.
- [14] "Tha Dan Canal Dam: Breath of Hope", *The Chaipattana Foundation Journal*, December, 2001
- [15] ZUCCOLI, G., SCALABRINI, C., SCUERO, A., "The use of a geomembrane for an arch dam repair", *Water Power & Dam Construction*, February 1989

RCC DAM SEEPAGE CONTROL: STATE OF THE ART AND SOME SUGGESTIONS FOR REVISION

by

Mirko PETKOVIĆ
E-mail: nezavisni@ptt.yu

Summary

Excessive water seepage through the dams is typical and one of the most significant problems of RCC dams structures.

The paper presents an attempt of comprehensive analysis of this phenomenon together with:

- (1) basic information about historical development of RCC
- (2) basic information about the nature of cracks and joints, and adequate suggestions,
- (3) the state of the art of the use of geosynthetics in RCC dam seepage control, with comparative analysis,

- (4) some innovative suggestions in modern RCC dam design and construction concepts,
- (5) consideration of the use of some new materials and structures in RCC and gravity dam seepage control.

Key words: RCC dams, history of RCC, cracking in concrete, joints, seepage control, geomembranes, precast concrete panels, geosynthetics, unexposed and exposed systems, underwater lining, innovative suggestions, new materials and structure

Redigovano 10.11.2003.