

ABRAZIJA BETONA HIDROTEHNIČKIH OBJEKATA

Živodar ERČIĆ
Energoprojekt, Beograd
E-mail: erra@eunet.yu

REZIME

Navode se najčešći uzroci oštećenja betona hidrotehničkih objekata i detaljnije razmatra abrazija betona. Iznose se podaci o otpornosti na abraziju raznih materijala i navodi nekoliko vrsta maltera koji se u literaturi preporučuju za korišćenje pri popravci oštećenih delova betona kao i za zaštitu od abrazije osnovne betonske mase objekta. Prikazuju se abraziona oštećenja na jednom objektu za zahvatanje vode za navodnjavanje.

Ključne reči: oštećenja betona, abrazija, otpornost na abraziju

1. UVOD

Hidrotehnički objekti su stalno izloženi štetnom dejstvu vode. Oštećenja betona su registrovana na mnogim objektima, naročito na onim izgrađenim pre više desetina godina. Uzroci nepostojanosti betona mogu da budu ili delovanje sredine u kojoj se nalazi beton (spoljni uzroci) ili procesi koji se dešavaju u samom betonu (unutrašnji uzroci) ili oba uzroka istovremeno [1].

Spoljni uzroci su najčešće fizičke i hemijske prirode, a mogu poticati od izuzetno visokih i niskih temperatura, od abrazije i kavitacije kao i od napada prirodnih i industrijskih tečnosti i gasova.

Glavni unutrašnji uzroci nepostojanosti betona su alkalna reakcija agregata, nejednaka promena zapremine zbog različitih toplotnih koeficijenata agregata i cementnog veziva i velika propustljivost betona (hemijske reakcije u betonu pri strujanju agresivne vode kroz propustljiv beton).

Najčešći uzroci registrovanih oštećenja betona bili su zamrzavanje i otkravljanje betona, alkalna reakcija

agregata, napadi agresivne vode i gasova i fenomeni vezani za strujanje vode velikom brzinom (abrazija i kavitacija) [2].

Danas su uglavnom poznati svi faktori koji prouzrokuju oštećenja a ustanovljeni su i postupci koji omogućavaju projektovanje i izgradnju hidrotehničkih objekata potpuno zaštićenih od oštećenja ovog tipa ili, bar, svedenih na meru koja se može kontrolisati normalnim održavanjem i popravkama. Tako, neželjene pojave usled dejstva prva tri napred navedena najčešća uzroka relativno lako se sprečavaju primenom betona sa uvučenim vazduhom, korišćenjem niskoalkalnog cementa, pucolana ili lebdećeg pepela i upotrebom betona čiji je kvalitet u saglasnosti sa glavnim uzrokom potencijalnih oštećenja.

Što se tiče fenomena vezanih za strujanje vode preko betonske površine, kavitaciona erozija se danas vrlo uspešno sprečava ili svodi na prihvatljivu meru kvalitetom betona (čvrstoća 30-35 MPa), glatkom betonskom površinom i veštačkim aerisanjem vodnog toka na dodiru sa betonom [3], dok je sadašnji nivo znanja i postupaka u vezi sa abrazijom betona takvo da se ovaj fenomen ne može potpuno sprečiti već samo ublažiti odgovarajućom zaštitom osnovne betonske mase nekom od raspoloživih obloga (čelik, veštačke smole, razne vrste maltera, kamen i dr.) [2,4].

U sledećim poglavljima ovog rada detaljnije se razmatra fenomen abrazije betonskih površina i prikazuju abraziona oštećenja zahvata vode za navodnjavanje na reci Santa (Peru).

2. OPŠTE O ABRAZIJI I ZAŠTITI OD VELIKH ABRAZIONIH OŠTEĆENJA

Abrazija betonskih površina je glavni problem hidrotehničkih objekata kroz koje, ili preko kojih, vodni tok pronosi velike količine peska i šljunka. Izrazom

"abrazija" označava se oštećenje betona, nastalo usled udara čvrstih čestica u betonsku površinu i dejstva hidrotehničkih sila na beton. Čvrste čestice koje nosi voda kreću se rotaciono, translatorno ili skokovito ili u bilo kojoj kombinaciji ovih kretanja, što zavisi od strujne slike vodnog toka i hidrotehničkih procesa koji se odvijaju u njemu. Zbog udara čvrstih čestica u tvrdu granicu javljaju se fine prsline na površini dodira sa vodom, unutar kojih potom počinju da deluju pulzirajuće hidrotehničke sile. Ukoliko, pri tome, naponi pritiska i zatezanja pređu dozvoljene granice, dolazi do loma materijala i razaranja njegove unutrašnje veze, a odlomljene deliće voda odnosi nizvodno.

Kod betonskih površina prsline se najpre formiraju u cementnom vezivu koje prvo biva razoreno i odneto nizvodno. Abrazija se zatim prenosi na agregat čije iznošenje iz ležišta ubrzavaju hidrodinamičke sile vodnog toka. Jednom započeta abrazija se brzo širi u unutrašnjost betonske mase zbog čega može da bude ugrožena stabilnost celog hidrotehničkog objekta.

Abraziona oštećenja izaziva kako vučeni tako i suspendovani nanos. Oštećenja od vučenog nanosa obično su po dnu provodnika ili na donjim delovima zidova i stubova, dok se abrazija suspendovanim nanosom može da desi skoro u svakom delu poprečnog preseka provodnika. Veličina abrazije nanosom koju pronosi provodnik je predvidiva i može se uzeti u obzir pri projektovanju. Suprotno ovome, veličina abrazije zbog povratnog vrtloženja vode i čvrstog materijala u slapištu nije predvidiva ali se i u ovom slučaju moraju preduzeti preventivne mere zaštite.

Intenzitet abrazionog dejstva zavisi od hidrodinamičkih karakteristika vodnog toka (brzina vode, pulzacije pritisaka, turbulencija, prisutvo vrtloga, brzina udara čvrste čestice o tvrdu granicu odnosno energija koju čestica izgubi pri sudaru, ugao pod kojim čestica udara u tvrdu granicu), fizičkih karakteristika nanosa (oblik, veličina, težina, mineraloški sastav, odnosno tvrdoća), količine nanosa koji se pronosi, trajanja pronošnja nanosa i mehaničkih karakteristika betona ili betonske obloge (naponi pritisaka i zatezanja, otpornost na zamor, udar i habanje). Posledice su ozbiljnije što je veća koncentracija nanosa, veća brzina vode, veće hidrodinamičke sile, tvrđe čestice, duže trajanje pronošnja nanosa i što su slabije mehaničke karakteristike betona. Razdelni stubovi, prolazne deonice i bilo koji vid diskontinuiteta na čvrstoj granici (niše, blokovi za disipaciju kinetičke energije vodnog toka i dr.) povećavaju abrazioni uticaj vodnog toka.

Abraziona oštećenja hidrotehničkih objekata koji provode vodu bogatu nanosom su neizbežna. Betonske površine ovih objekata su podložne abraziji i do danas nisu pronađene potpuno efikasne protivmere. Abrazioni proces usporavaju (ali ga potpuno ne eliminišu) zaštitna osnovne betonske mase nekom od raspoloživih obloga (1), plan pogona kojim se ograničavaju brzine vode (2), periodična održavanja (3) i povremene popravke (4).

Rezultati dosadašnjih ispiivanja u vezi sa abrazionom otpornošću raznih materijala pokazuju velike razlike u intenzitetu erozije. Tako, na primer, rezultati ispitivanja, izvršenih u okviru reparacije temeljnog ispusta brane Khashm el Girba (Sudan) [5], pokazuju sledeće odnose između zapremina erodovanog materijala ispitivanih uzoraka, uzimajući, kao referentni uzorak, staklenu ploču sa koeficijentom 1.

- normalni beton sa 350 kg cementa	3.5-4.0
- staklena ploča	1.00
- beton sa 600 kg cementa + korund	0.9-1.0
- malter od epoksi smole	0.8-0.9
- čist epoksi	0.22-0.24
- dobar granit	0.55-0.75
- glatka poliuretanska smola	0.14-0.18
- čelik	0.04-0.05

Slične rezultate dala su eksperimentalna ispitivanja u Japanu [6]. Pema ovim ispitivanjima relativna otpornost na abraziju ispitivanih materijala u odnosu na čelik je sledeća:

- čelik	1
- poliuretan	3.7-5 puta manja od čelika
- kamen	15-20 puta manja od čelika
- visoko otporan beton	300-400 puta manja od čelika

U inženjerskoj praksi se za oblaganje uglavnom koriste čelik, ploče od kamena (obično granit ili bazalt) i razne vrste maltera i smola.

Oblaganje betona čelikom je efikasna ali skupa zaštitna mera zbog čega se u praksi koristi kod kratkih objekata. Granitne i bazaltne ploče mogu da budu efikasna zaštita od abrazije ukoliko se upotrebi odgovarajuća ispuna (vezivo) između ploča od čije otpornosti na abraziju zavisi postojanost kamene obloge. Naime, ispuna između ploča sprečava prodor hidrodinamičkih sila ispod ploče, njeno izdizanje iz ležišta i odnošenje nizvodno usled istovremenog delovanja različitih vrednosti hidro-dinamičkih sila na gornju i donju stranu ploče od kamena. Tako je, u gore pomenutim ispitivanjima [6], konstatovana značajna i brza abrazija

cementnog maltera kojim su vezane kamene ploče, dok je abrazija epoksi smole iste namene bila skoro odsutna.

Danas je na tržištu raspoloživ veliki broj maltera i smola za zaštitu osnovne betonske mase objekata ili popravku oštećenih betonskih površina. Sem toga, u tehničkoj literaturi se mogu naći i rezultati brojnih laboratorijskih ispitivanja otpornosti raznih maltera na abraziju, rađenih u okviru projekata za popravku oštećenih delova betona. Jedno od takvih ispitivanja opisano je u literaturi [7]. Cilj ovih laboratorijskih i terenskih ispitivanja je bio da se odrede malteri pogodni za popravku oštećenih površina, dubina do 75 mm. Dublja oštećenja bi se parcijalno popunila "silica fume" betonom, a zaim prekrila preporučenim malterom. Testirano je 40 raznih maltera a zatim je, na osnovu otpornosti na abraziju, troškova postavljanja i održavanja obloge i vremenskog trajanja zaštite, preporučeno nekoliko sledećih mešavina:

- cement tipa 10 + 6% silica fume + pesak + plastifikator
- cement i pesak + aditiv
- aluminijumski cement + drobljeni agregat
- "latex" emulzija sa vodom + prah cementa + aditivi
- "latex" emulzija + cement + graduisani agregat

Kao aditiv korišćena su polipropilen vlakna (polypropylene fibers) da bi se povećala otpornost na zatezanje, udar, drobljenje, prskanje i vetrenje.

Ispitivanja otpornosti betona na abraziju koja se vrše u okviru projektovanja i izgradnje brana i hidroelektrana Vrhovo i Boštanj (reka Sava, Slavonija) pokazala su da beton sa portland cementom nije otporan na abraziju i da se moraju poboljšati mehaničke karakteristike i betonske mase i cementnog veziva [8] jer evakuacioni objekti ovih brana prenose oko 100 000 m³/god. suspendovanog nanosa krečnjačkog porekla. Zaključeno je da se otpornost na abraziju znatno povećava dodavanjem čeličnih ili polipropilen vlakana u masu betona i silica fume ili polimera u cementno vezivo, korišćenjem lomljenog agregata odgovarajućeg granulometrijskog sastava i fizičkih i hemijskih karakteristika i primenom odgovarajućih procedura tokom izgradnje (nizak odnos cementa i vode, glatka betonska površina, nega betona). Dosadašnja ispitivanja su pokazala da se gubitak mase betona zbog abrazije smanjuje za oko 47% ukoliko se betonskoj masi od portland cementa sa 15% šljake, lomljenog agregata krečnjačkog porekla i superplastifikatora dodaju čelična

vlakna, dužine 32 mm i debljine 0.5 mm, u zapremnom odnosu od 2%.

Ipak, sva dosadašnja istraživanja i praktična iskustva pokazuju da se ne može sprečiti postepena abrazija čak ni veoma otporne obloge od čelika ako vodni tok prinosi znatne količine nanosa velikom brzinom. Tako, na primer, čelična obloga na dnu ispusta brane Khashm el Girba, debljine 12 mm, morala je da bude zamenjena posle 13 godina eksploatacije zbog abrazionih oštećenja, jer je kroz ovaj objekat pronošeno 400 000 t/god. finog peska po 1 m širine ispusta, brzinom od 20-25 m/sek.[2] Čelična obloga je zamenjena oblogom od poliuretanskog maltera, debljine 9 mm. Posle 7 godina eksploatacije i ova obloga je morala da bude zamenjena oblogom od armiranog betona, debljine 0.2-1.0 m, prekrivenom katran-epoksi-korund malterom, debljine 20 mm, kao kompromisnom oblogom između obloge idealno otporne na abraziju i obloge idealno otporne na udar.

Evidentno je da najveći uticaj na usporavanje abrazije betona hidrotehničkih objekata imaju: čvrstoća lomljenog betonskog agregata (koji treba da je, najmanje, istog porekla kao zrna nanosa), aditivi koji se dodaju betonskoj masi i cementnom vezivu i vrsta obloge (čelik, ploče od kamena, razne vrste maltera) kojom se oblaže osnovna betonska masa u kritičnim zonama. Ali se uticaj nekih faktora na intenzitet abrazije može smanjiti odgovarajućim merama kao što su:

- projektovanje što kraćeg objekta za ispuštanje vode bogate nanosom (evakuatora);
- osiguranje što ravnomernije koncentracije nanosa u poprečnom preseku evakuatora;
- izostavljanje stubova, kolena, konkavnih krivina, konvergentnih i divergentnih deonica i svih diskontinuiteta na betonskoj površini (niše, blokovi i pragovi u slapištu i dr.) koji mogu da izazovu separaciju vodnog toka i povećanje hidrodinamičkih pritisaka;
- smanjenje brzine vode izborom odgovarajućih pravila pogona i
- određivanja što vernije strujne slike i hidrodinamičkih procesa na osnovu ispitivanja na hidrauličkom modelu pogodne razmere.

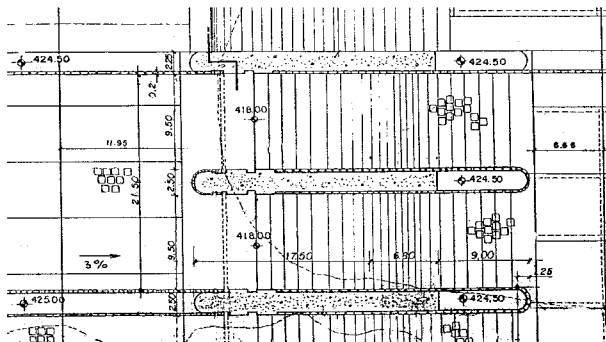
Posledice abrazije lakše će se ukloniti ako se osigura brza i laka inspekcija ugrženih zona kao i lako održavanje i popravka oštećenih delova betona, što se

takođe može postići izborom odgovarajuće dispozicije, oblika i dimenzija objekta za ispuštanje vode i nanosa iz usporenog dela rečnog toka.

3. ABRAZIONA OŠTEĆENJA NA ZAHVATU SANTA

3.1. Osnovni podaci

Ovim objektom se zahvata voda za irigacioni sistem Čavimochik (Chavimochic) u Peruu. Komponente zahvata su slobodni preliv sa krunom na koti 425.5 mm, dva prelivna polja sa segmentnim ustavama, ispustom za ispiranje nanosa ispred ulazne građevine, slapištem i ulaznom građevinom glavnog derivacionog kanala (slika 1 i foto 1).



Slika 1. Osnova prelivnih polja sa ustavama

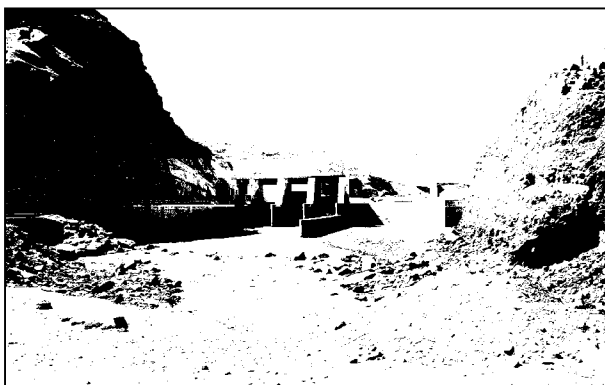
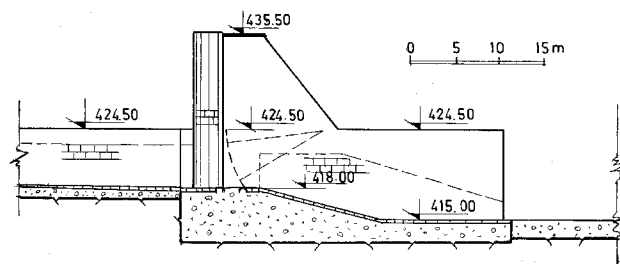


Foto 1. Zahvat Chavimochic - pogled sa nizvodne strane

Svako od dva prelivna polja je širine 9.5 m sa dnom na koti 418.0 m. Na svakom polju montirane su segmentne ustave visine 7.5 m i pomoćne ustave neposredno uzvodno od segmentnih (slika 2). Prelivna polja su odvojena od slobodnog preлива i ulazne građevine

vodećim zidovima, dužine 55.0 m između kojih se nalazi prilazni kanal sa dnom u padu od 3%. Prelivna polja su međusobno razdvojena razdelnim stubom debljine 2.5 m. Sve betonske površine prilaznog kanala, prelivnih polja i slapišta dodiru sa vodom obložene su kamenim pločama debljine 20 cm. Za ispunu između ploča korišćen je visoko kvalitetni cementni malter a svaki peti red ploča ankerisan je za osnovnu betonsku masu. Prilazni kanal je odvojen od prelivnih polja dilatacionom spojnicom.



Slika 2. Podužni presek kroz prelivno polje

Ukupna propusna moć svih evakuacionih organa je 3300 m³/s, a oba prelivna polja mogu da propuste oko 450.0 m³/s pri usporu na koti 425.5 m. Prema modelskim ispitivanjima brzine vode u blizini razdelnog stuba, pri protoku od 650 m³/s, iznose oko 10 m/s.

Reka Santa pronosi vrlo velike količine nanosa u vreme povodnja. Pesak ima preko 50% minerala kvarca u svom sastavu. Maksimalni prečnik zrna vučenog nanosa je 60 cm, krupnije frakcije prečnika većeg od 10 cm zastupljene su 25%, dok sitnijih frakcija prečnika manjeg od 1 cm ima 35%. Sav vučeni nanos reka pronosi u sloju vode debljine 60 cm.

U periodu novembar '93. - maj '94. rekam je protekla izuzetno velika količina vode i nanosa. Maksimalni protok koji se pojavio u maju 1994. iznosio je 900 m³/s, a u prethodnim mesecima zabeleženi su i protoci od 700 i 800 m³/s. Pronos nanosa nije registrovan. U znatno većem delu ovog vremenskog perioda segmentne ustave bile su potpuno otvorene.

3.2. Opis oštećenja betona na prelivu sa ustavama

Oštećenja betona na ovom objektu primećena su krajem maja '94. pri proticaju od oko 100 m³/s. Zbog toga je izgrađen zagat od šljunka između dva vodeća zida

preliva sa ustavama i vodni tok skrenut u ispust za ispiranje nanosa. Vizuelnim opažanjem konstatovano je sledeće:

- (a) eroziona jama, dubine oko 2.5 m i širine oko 2.0 m, prostirala se po uzvodnom obimu stuba i nastavljala se u erozioni rov koji je prolazio kroz betonsku masu oba prelivna polja; rastojanje rova od razdelnog stuba se povećavalo idući nizvodno; u rovu su se mogli primeniti veći i manji komadi vučenog nanosa, kamene ploče obloge i veliki blokovi odvaljenog betona;
- (b) razdelni zid je potkopan na čelu a armatura iskidana i iskrivljena (foto 2); zidovi jame na čelu razdelnog stuba su glatki, nepravilnog oblika, sa potkopima, što je karakteristično za eroziju nastalu usled stalne rotacije čvrstih tela u jami.



Foto 2. Abrazija na čelu razdelnog zida

- (c) uočljiva je razlika izgledu strana erozionog rova; strana rova bliža stubu je glatka i vertikalna, što ukazuje da nanos nije doticao u rov sa strane u znatnijim količinama; suprotna strana rova je blaža i zaobljenih ivica, a primećuju se i urezani kanali u beton (foto 3 i 4)
- (d) beton razdelnog stuba neposredno nizvodno od vođica pomoćnog stop-log zatvarača erodovan je do visine od oko 1.0 m i u dubinu od oko 2.0 cm; nisu registrovana izrazitija oštećenja verikalnih vođica zatvarača, ali su presečeni donji čelični oslonci oba zatvarača.
- (e) beton zidova suprotnih razdelnom stubu nije erodovan;
- (f) nije bilo opštećenja na čelu levog i desnog vodećeg zida niti njihovih temelja a takođe ni obloge u dnu prilaznog kanala.



Foto 3. Erozioni rov - uzvodni deo



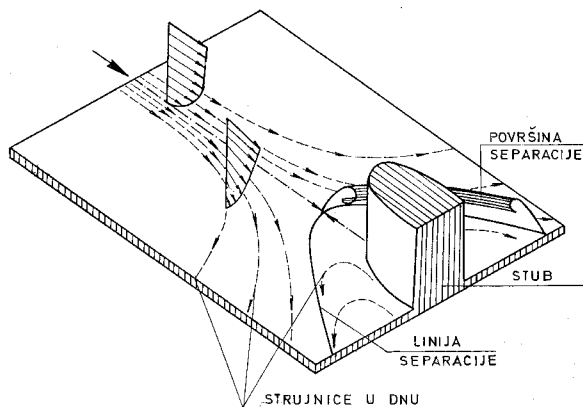
Foto 4. Erozioni rov - nizvodni deo

Prethodni opis erozije betona je skraćena verzija dužeg izveštaja koji je pisac ovog rada izradio na osnovu vizuelnog pregleda objekta i predao ga naručiocu u julu '94. [9]

3.3. Uzroci i razvoj erozije

Glavni uzroci velike erozije betona bile su velike količine kvarcnog nanosa koji je voda pronosila kroz prelivna polja brzinom od oko 10 m/sek i poremećaji u vodnom toku zbog opostrujavanja razdelnog zida. Naime, trodimenzionalna raspodela brzina koja nastaje pri opstrujavanju stuba postavljenog u struju vode dovodi do razvoja vrtloga [10] na čelu i duž stuba koji odbacuju nanos od stuba i povećavaju intenzitet pulzacija pritisaka (slika 3). Fenomen odbacivanja nanosa od stuba je bio osnova za razvoj posebnog tipa zahvata u tekućoj vodi, smeštenog u čelu stuba (pier direct intake) kojim se skoro potpuno eliminiše zahvatanje vučenog nanosa. U oblasti toka između površine separacije i površine stuba kretanje je vrtložno,

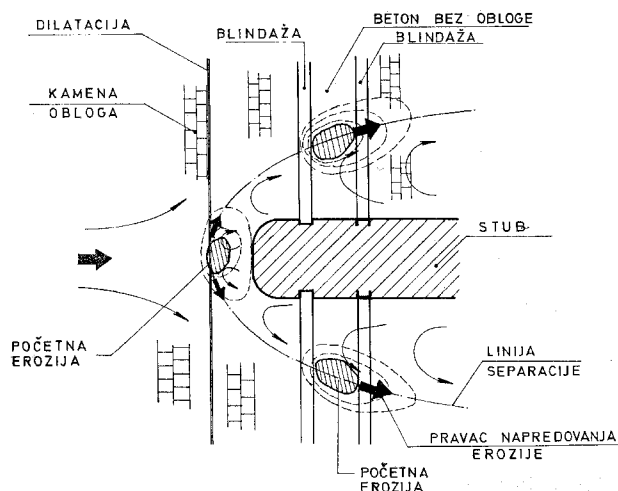
sa velikim pulzacijama pritiska a na liniji separacije otkidaju se vrtlozi koje struja vode nosi niz tok.



Slika 3. Strujna slika oko stuba

Napred opisana strujna slika je osnova za sledeći opis razvoja erozije betona na prelivnim poljima sa ustavama.

- (1) Jedan deo dolazećeg, ravnomerno raspoređenog nanosa po širini prilaznog kanala, biva odbačen od stuba i skoncentrisan na liniji separacije vodnog toka.
- (2) Struja skoncentrisanog materijala velikog abrazionog potencijala brzo eroduje betonsko dno između čeličnih oslonaca ustava koje nije zaštićeno pločama od kamena, tako da proces erozije počinje u zoni u kojoj linija separacije preseca nezaštićeni deo betonske mase (slika 4).
- (3) U tako formiranom udubljenju počinje vrtložno kretanje dospelog šljunka i peska, priširenje i produbljenje eroziona jame kao i presecanje čeličnih oslonaca pomoćnog zatvarača i segmentne ustave.
- (4) Presecanjem čeličnih oslonaca otvara se mogućnost da hidrodinamičke sile prodru ispod kamenih ploča, razdrmaj ih, otkinu od podloge i odnesu nizvodno, stvarajući nove nezaštićene površine betona, nedovoljno otpornog na abraziju.
- (5) Proces, napredujući u dubinu i nizvodno, formira erozioni rov sa podkopima na čelu i stranama stvarajući uslove hidrodinamičkim silama da mogu da odlamaju veće delove betona.
- (6) U erozioni rov se sliva nanos sa suprotne strane razdelnog zida i formira se tok sa velikom koncentracijom nanosa što još više ubrzava abraziju betona.



Slika 4. Početna erozija i pravac napredovanja

- (7) Istovremeno sa razvojem abrazije betona u zoni između čeličnih oslonaca ubetoniranih u dno, realizuje se abrazija betonske ispune kamenih ploča ispred čela razdelnog stuba a zatim i prodiranje hidrodinamičkih sila ispod betonskih ploča, zbog čega one bivaju izdignute iz ležišta i odnete nizvodno. Ovom razarajućem procesu najverovatnije su najpre podlegle ploče oko dilatacione spojnice između prilaznog kanala i prelivnih polja koja je 1.0 m udaljena od čela stuba. Dovoljno je bilo da samo jedna ploča bude odneti i da se u njenom ležištu formira vrtložno kretanje vode i nanosa koje je, potpomognuto povećanim hidrodinamičkim silama, brzo proširivalo eroziju u dubinu i u nizvodnom pravcu potkopavajući temelje stuba i spajajući se sa erozionim rovom.

Potrebno je naglasiti da abrazija betona nije registrovana na čelima levog i desnog vodećeg zida jer se ova čela nalaze u zoni relativno malih dolaznih brzina.

3.4. Popravka oštećenja i mere za usporavanje procesa abrazija

Logično je da najpre treba ispuniti erozione levke i roveve betonom velike čvrstoće (lomljeni agregat sa velikim sadržajem minerala kvarca + silica fume + plastifikator) a zatim zaštititi osnovnu betonsku masu slojem od kamenih ploča, otpornog na eroziju i uticaj hidrodinamičkih sila.

Iz napred opisanog procesa nastanka i razvoja abrazije proizilazi i šta treba učiniti da se uspori ovaj proces abrazije.

Generalno, treba učiniti sledeće:

- (a) izbeći opstrjavanje razdelnog stuba između prelivnih polja u zoni velikih brzina;
- (b) osigurati da kamene ploče ne budu izbačene iz svog ležišta;
- (c) osigurati brži i češći pregled ugroženih zona i laku popravku manjih oštećenja;
- (d) poboljšati proceduru propuštanja vode kroz prelivna polja sa ciljem da se smanje brzine vode.

Razdelni zid se može produžiti uzvodno tako da mu se čelo nalazi u zoni malih brzina vode. U tom slučaju se ne bi remetila ravnomerna koncentracija nanosa u poprečnom preseku preliva a postojanost obloge bi, uglavnom, zavisila od otpornosti na abraziju veziva između ploča.

S obzirom da veći deo kamene obloge nije oštećen treba i dalje koristiti ovu vrstu zaštite. Kamene ploče trebalo bi zaliti epoksi malterom a na mestima gde se spojnice mogu otvoriti (dilatacione spojnice u osnovnom betonu, veza kamenih ploča se čeličnim elementima) svaka ploča koja je u dodiru sa takvom spojnicom treba da bude ankerovana u osnovni beton.

Deo dna preliva između čeličnih oslonaca pomoćnog stop-log zatvarača i segmentne ustave treba zaštititi čelikom, odnosno oba oslonca treba spojiti u jednu celinu.

I pored svih preduzetih mera ne može se sa sigurnošću tvrditi kako će se erozija u budućnosti razvijati, pa je neophodno da se osigura pregled dna bar jednom godišnje i olakša popravka manjih oštećenja betona. Za tu svrhu najpovoljnije je da se postojeći stop-log zatvarači izmeste uzvodno, na početke prilaznih kanala do prelivnih polja sa ustavama i ispusta za ispiranje nanosa, istaloženog ispred ulazne građevine. S obzirom da pomoćni zatvarači već postoje i da razdelni zid preliva treba produžiti uzvodno, potrebno je da se izgradi samo novi servisni most.

Malo se šta radikalno može učiniti sa pogonom ustava sa ciljem da se smanje brzine vode u prelivnim poljima. Jedino moguće je težiti da pronošenje nanosa kroz oba polja bude ravnomerno.

4. ZAKLJUČAK

Abrazija betonskih površina je glavni problem hidrotehničkih objekata kroz koje vodni tok pronosi velike količine nanosa.

Intenzitet abrazije zavisi od hidrodinamičkih karakteristika toka, fizičkih karakteristika nanosa, količine prinetog nanosa, trajanja pronošenja i mehaničkih karakteristika osnovnog betona ili njegove obloge.

Abrazija betona je brža i obimnija što je veća koncentracija nanosa, veće brzine vode, veće hidrodinamičke sile i vrtloženje, tvrđe čestice nanosa, duže pronošenje i što su slabije mehaničke karakteristike betona ili obloge. Bilo koji vid diskontinuiteta na čvrstoj granici takođe povećava obim erozionih oštećenja.

Abraziona oštećenja hidrotehničkih objekata kroz koje se pronosi velika količina nanosa su neizbežna ali se abrazioni proces može usporiti zaštitom osnovne betonske mase nekom od raspoloživih obloga (čelik, ploče od kamena, razne vrste maltera) i primenom nekonstruktivnih mera kao što su ravnomerna koncentracija nanosa u poprečnom preseku vodnog toka, izostavljanje diskontinuiteta na betonskoj površini i separacije vodnog toka, smanjenje brzine vode izborom odgovarajućih pravila pogona i određivanje što vernije strujne slike i hidrodinamičkih procesa na osnovu ispitivanja na hidrauličkom modelu.

Posledice abrazije lakše će se ukloniti ako se izborom odgovarajuće dispozicije, oblika i dimenzija objekta osigura brza i laka inspekcija ugroženih zona i lako održavanje i popravka oštećenih delova betona.

LITERATURA

- [1] A.M.Neville, Svojstva betona, Građevinska knjiga, 1977, Beograd
- [2] N. Pinto, Deterioration of Spillways and Outlet Works, XVIII ICOLD Congress, Gr. Q.71, 1994, Durban
- [3] R.B. Jansen, Editor, Advanced Dam Engineering for Design, Construction, and Rehabilitation, Van Nostrand Reinhold, 1988, New York
- [4] C. Ricard, Exploitation et Entretien des ouvrages d'évacuation des barrages du Rhone. Detection des deteriorations, XVII ICOLD Congress, Q.71-R.25, 1994, Durban

- [5] ICOLD, *Spillways for Dams*, Bulletin 58, 1987, Paris
- [6] S. Takebazashi, S. Takasu, *Historical Development and Design Method of Reservoir Sediment Flushing Facilities in Japan*, XVIII ICOLD Congress, Q.71-R.28, 1994, Durban
- [7] J. Mirza, B. Durand, *Repair Mortars for Controlling Abrasion. Erosion Damage on Dam Surfaces*, XVIII ICOLD Congress, Q.71-R.12, 1994, Durban
- [8] A. Kryžanowski, J. Šušteršič, *Performance of Concrete exposed to long-term underwater abrasion loading*, XXI ICOLD Congress, Q.82-R.13, 2003, Montreal
- [9] Ž. Eričić, M. Miloradović, *Erosion del concreto en la bocatoma Chavimochic*, Informe tecnico, Lagesa, 1994, Lima
- [10] H. Schlichting, *Tree-dimensional Boundary Layer Flow*; IX IAHR Congress, 1961, Dubrovnik

ABRASION OF CONCRETE IN HYDRAULIC

by

Zivodar ERCIC
Energoprojekt, Beograd
E-mail: erra@eunet.yu

Summary

The most frequent causes of concrete damages in hydraulic structures are singled out and in more details the abrasion of concrete. Data concerning the abrasion resistance of different materials recommended in technical literature for repair of damaged parts of concrete and for protection against abrasion of the

main concrete body of structures, are exposed. Abrasion damages of an irrigation intake structure are presented as a case history.

Key words: concrete damages, abrasion, erosion resistance

Redigovano 05.06.2004.