

Kunskapsåterföring på betongområdet från det amerikanska REMR- programmet

Elforsk Rapport 98:33



Christian Bernstone

Kunskapsåterföring på betongområdet från det amerikanska REMR- programmet

**Christian Bernstone
Vattenfall Utveckling AB**

Elforsk Rapport 98:33

December 1998

Förord

Ett av de mer omfattande forsknings- och utvecklingsprogrammen inom det, eller snarare de, områden som rör befintliga vattenbyggnadskonstruktioner startade 1994 vid Waterways Experimental Station (WES) i USA, det så kallade REMR-programmet. Efter en inledande genomgång och utvärdering av hur tillståndsläget för konstruktionerna faktiskt såg ut och vilka åtgärder som dithills gjorts ute på anläggningarna formulerades ett antal prioriterade forsknings- och utvecklingsprojekt som därefter drivits vidare vid laboratorierna på WES.

Omfattningen av REMR-materialet gör att det är mycket intressant att följa utfallet från programmet även för kraftindustrin i Sverige. Ett projekt för att bevaka REMR-programmet och framförallt det arbete som rör betongområdet har därför ansetts angeläget. Genomförandet av detta har möjliggjorts genom anslag från Elforsk.

REMR-programmet gick in i sitt slutskede under hösten 1998. Det är således lägligt att delar av resultaten därifrån nu sammanställs i rapportform. Delar av materialet i rapporten har tidigare presenterats vid 1997 och 1998 års betongdagar vid Älvkarlebylaboratoriet.

Rapporten är upplagd på ett sådant vis att det skall vara lätt att hitta vidare till mer detaljerad information i den mängd publikationer som finns att tillgå från WES.

Sammanfattning

Livslängden för vattenkraftsbranschens anläggningar har av bedömare uppskattats till mellan 50-160 år. Många konstruktioner börjar därför komma upp i sådan ålder att ett ökat reparationsbehov framöver är troligt. Många av de aspekter som rör åldrande infrastruktur inom vattenbyggnadsområdet har behandlats inom ett 14-årigt amerikanskt FoU-program som drivits av US Army Corps of Engineers vid Waterways Experiment Station (WES) i USA. Programmet, som benämns ”*Repair, Evaluation, Maintenance and Rehabilitation (REMR) research program*”, har varit uppbyggt runt sex breda problemområden där det primära målet har varit att utveckla teknologier som kan användas för att åtgärda vanliga underhållsproblem och därmed åstadkomma förlängd livslängd. Upplägget av REMR-programmet bidrar till en intressant helhetsbild där materialanalyser, teoretiska modeller och genomförda reparationer kopplas samman. I programmet finns många intressanta erfarenheter att inhämta och svenska erfarenheter av problem och lösningar bör framöver ställas mot de redovisade resultaten. Helhetsbilden underlättar identifiering av framtida angelägen forskning och utveckling.

Syftet med studien som ligger bakom denna rapport är att sammanfatta valda delar av REMR-programmets resultat och att göra kraftindustrin i Sverige uppmärksam på den kunskap som finns att tillgå i materialet. Målet har varit att sammanställa informationen i form av sammanfattande informationsblad. Genomgången har resulterat i 16 informationsblad vilka återfinns i Bilaga 1. Underlaget till informationsbladen framgår av referenser och medföljande referenslistor.

REMR-programmets sex problemområdena omfattar: (1) betong och stål, (2) geoteknik, (3) hydraulik, (4) el och mekanik, (5) kustnära tillämpningar samt (6) förvaltning. Arbetet inom området betong och stål har varit fokuserat mot metoder för att göra tillståndsbedömningar över och under vatten, mot underhålls- och reparationsmetoder och mot konstruktionsmaterial. Det material som sammanfattas i rapporten är i hög grad knutet till betongområdet.

En viktig del i REMR-programmets inledningsskede var den genomgång av skadehistorier som utfördes utifrån referensmaterial från ett stort antal vattenbyggnadskonstruktioner. Resultatet visar att för allvarliga skador finns det ett klart samband mellan ökande medelålder och antalet fall med undermålig betong. Där emot saknas en klar korrelation mellan det totala antalet observerade skador och betongkonstruktioners medelålder vilket till stor del beror på att merparten av rapporterade skador är att beteckna som ringa. En viktig slutsats blir således att vid fortsatt drift, med påföljande successivt ökande medelålder, så kommer antalet skadefall som kräver reparationsåtgärder att öka. Vidare visar inventeringen att dokumentationen från utförda reparationer endast i mindre omfattning har varit så pass utförlig att skadeorsaken går att fastställa. Som helhet gav reparationerna och underhållsåtgärderna gott resultat i endast hälften av fallen. För 35 procent var resultatet antingen dåligt eller misslyckat.

Bland de positiva resultat som rapporterats från FoU inom REMR-programmet kan bland annat nämnas nyutveckling av förvaltningssystem, lyckat användande av oförstörande provningsmetoder, tester av alternativa material i demonstrationsstudier, reparation av omfattande skador medelst prefabricerade betongelement,

samt undervattenreparationer (undervattensgjutning av betong eller applicering av geokompositmaterial). Andra generella positiva resultat från projektet är att:

- Ett arbetssätt har etablerats.
- Metoder finns för utredning av skada och orsak där hänsyn tas till faktorer som laster, rörelser och miljö.
- Val av åtgärdsalternativ har kunnat kopplas till forskning och utveckling.
- Genomförandet har kunnat följas upp och erfarenheterna har återkopplas till fortsatt forskning och utveckling.

Innehållsförteckning

FÖRORD

SAMMANFATTNING

1. INLEDNING	1
1.1 Bakgrund	1
1.2 Syfte och mål	2
1.3 Begränsningar	2
2. WES PROGRAMORGANISATION	3
2.1 Waterways Experiment Station (WES)	3
2.2 REMR-programmet	3
2.3 Redovisningsformer	5
3. ÖVERGRIPANDE RESULTAT FRÅN FOU INOM BETONGOMRÅDET	7
3.1 Tillståndsläget för US Corps of Engineers betongkonstruktioner	7
3.2 Riktlinjer för konditionsbedömning	7
3.3 Förvaltningssystem	8
3.4 Metoder för oförstörande provning	8
3.5 Exempel på specifika problem för tillståndskontroll av dammkonstruktioner	8
3.6 Metoder för att avlägsna skadad betong inför reparationsarbeten	9
3.7 Reparationer av sprickor och avskalningsskador	9
3.8 Reparationer med geomembraner	9
3.9 Reparationer med prefabricerade betongelement	10
3.10 Antiurvaskningsmedel för undervattensgjutning av betong	10
3.11 Reparationsmaterial för erosionsskador	10
3.12 Reparationer av läckande dilationsfogar	11
3.13 REMR-material utöver det som tas upp i informationsbladen	11
4. DISKUSSION OCH SLUTSATSER	12
4.1 Skadeinventering	12
4.2 Förvaltningssystem	12
4.3 Oförstörande provning	13
4.4 Reparationer	13
4.5 Slutord	15
5. REFERENSER	16

Bilageförteckning

BILAGA 1:

Sammanfattande tekniska informationsblad B1-1

1. Tillståndsläget för Corps of Engineers betongkonstruktioner.
2. WES riktlinjer för att undersöka konditionen hos befintliga betongkonstruktioner.
3. Förvaltningssystem: konditionsindexering av befintlig infrastruktur.
4. Fallstudie: inspektion av hålrum med hjälp av metoderna puls-eko och radar.
5. Fallstudie: detektering av läckage med hjälp av akustisk emission.
6. Metoder för oförstörande provning av betong: Ultrasonic Pulse-Echo.
7. Tillståndskontroll av betongkonstruktioner: rörelsemätning.
8. Tillståndskontroll av betongkonstruktioner under vatten.
9. Metoder för att avlägsna skadad betong.
10. Reparation av sprickor och avskalningsskador.
11. Reparation med geomembraner.
12. Reparation med prefabricerade betongelement.
13. Antiurvaskningsmedel för undervattensgjutning av betong.
14. Lagningsmaterial för erosionsskador i betong.
15. Reparation av läckande dilationsfogar: fallstudier och erfarenheter.
16. Reparation av intag och förbindelseledningar: fallstudier och erfarenheter.

BILAGA 2:

Lista över artiklar publicerade i REMR-bulletinen B2-1

BILAGA 3:

Lista över REMR tekniska rapporter B3-1

BILAGA 4:

Lista över REMR tekniska informationsblad B4-1

1. Inledning

1.1 Bakgrund

Livslängden för vattenkraftsbranschens anläggningar torde ligga på 50-160 år [1]. Eftersom de flesta anläggningar i Sverige byggdes under perioden 1900-1960 så börjar konstruktionernas ålder att bli så pass höga att det reparationsbehov som finns idag kommer att öka ytterligare framöver.

För att tillfredställande kondition hos betongkonstruktioner med hänsyn till säkerhet och tillgänglighet skall kunna upprätthållas måste i många fall komplexa problemställningar beaktas. Större genomgångar och utvärderingar av konstruktioner i form dammsäkerhetsvärderingar görs dock relativt sällan. Vid sådana tillfällen ställs stora krav på att hänsyn tas till ett stort antal aspekter och att den information som samlas in vägas samman till ett bra planeringsunderlag.

Vid sådana dammsäkerhetsvärderingar identifieras i första hand de övergripande problem som bedöms kunna bidra till dammbrott. Andra typer av problem på konstruktionerna som kan leda till materialnedbrytning och ett ökat reinvesteringssbehov i framtiden behöver också utvärderas. För äldre konstruktioner kan man behöva beakta hela konstruktionens funktion och bärighet med hänsyn till åldring och skador, men även med hänsyn till redan genomförda förnyingsåtgärder och reparationer. Vidare måste bedömningar göras av betydelsen av framtida skadeutveckling och den utvecklingstakt som kan förväntas.

Många av dessa aspekter har behandlats inom ett stort amerikanskt FoU-program som drivits av US Army Corps of Engineers vid Waterways Experiment Station (WES). Programmet, som benämns "*Repair, Evaluation, Maintenance and Rehabilitation (REMR) research program*", har avslutats under hösten 1998 efter att ha pågått under 14 år.

De problemområden som har studerats är inriktade mot behoven hos en åldrande infrastruktur. Arbetet har varit fokuserat mot praktiska aspekter för utförandet av undersökningar och reparationer och de erfarenheter som erhållits har tydligt visat att de teknologier som är nödvändiga vid reparationsåtgärder ofta skiljer sig från dem som används vid nykonstruktion.

Kostnaden för underhåll och reparationer dammar, slussar och vattenkraftskonstruktioner har under senare år tagit en allt större andel av US Corps of Engineers budget i anspråk. FoU inom REMR-programmet har bidragit till att maximal nytta erhållits för avsatta medel genom att identifiera och utveckla kostnadseffektiva teknologier [2]. I dagsläget har REMR-teknologier använts vid ett stort antal projekt i USA med stora kostnadsbesparingar som resultat. Utöver besparingarna har ökad säkerhet och pålitlighet och förbättrade driftsegenskaper uppnåtts.

I denna Elforsk-rapport sammanfattas valda delar REMR-programmets resultat.

1.2 Syfte och mål

Syftet med Elforskstudien är att sammanfatta valda delar av REMR-programmets resultat och att göra kraftindustrin i Sverige uppmärksam på den kunskap som finns att tillgå i materialet.

Målet har varit att sammanställa informationen i form av sammanfattande informationsblad. Genomgången har resulterat i 16 informationsblad vilka återfinns i Bilaga 1. Underlaget till informationsbladen framgår av referenser och medföljande referenslistor (Bilaga 2-4).

1.3 Begränsningar

Följande begränsningar gäller för rapporten:

- Betongrelaterad forskning och utveckling utgör huvuddelen av det material som sammanfattas. Det material som har tagits hem från WES, och som finns tillgängligt i Betongtekniks referensbibliotek, behandlar således i huvudsak detta område. Som framgår av Bilaga 3 så finns det även ett omfattande material om FoU inom andra områden som kan vara av intresse för svensk vattenkraftsindustri, t. ex. reparation och underhåll av jordfyllningsdammar.
- REMR-programmet har inte haft någon ambition att göra fullständiga utredningar av de frågor som behandlats. Det innebär att angränsande forskning utanför WES och samverkande parter endast avhandlas i mindre omfattning. I informationsbladen i Bilaga 1 görs endast i undantagsfall referenser till källor utanför REMR-programmet.
- REMR-programmet omfattar detaljerad information om ett stort antal reparationsmaterial. Materialdelen ligger dock utanför målsättningen för denna rapport.

2. WES programorganisation

2.1 Waterways Experiment Station (WES)

WES är det största av US Corps of Engineers¹ totalt 4 forsknings- och utvecklingslaboratorier runt om i USA. Forskning bedrivs vid ett antal tekniska laboratorier vilka samtliga ligger i Vicksburg, Mississippi:

- Coastal and hydraulics laboratory.
- Environmental laboratory.
- Geotechnical laboratory.
- Information technology laboratory.
- Structures laboratory.
- Automation technology center.

Forskningen har bedrivits i samarbete med andra forskningsinstitutioner, tillverkare av material och utrustning, leverantörer och ägare.

US Corps of Engineers har ansvar för ca 540 dammar och 260 slusskonstruktioner på nästa 600 platser i USA. Sextio procent av dessa är mer än 20 år gamla (1985 års siffror) och mer än 40 procent är mer än 30 år gamla [3], d.v.s. åldersstrukturen är snarlik den som återfinns i Sverige. För det stora flertalet räknar man med att driften kommer att upprätthållas en bra bit över den livslängd som de ursprungligen konstruerades för. Platsbesök och genomgång av inspektionsrapporter har visat att det för många av konstruktionerna kommer att krävas betydande underhålls- och reparationsinsatser framöver.

2.2 REMR-programmet

REMR-programmet har varit uppbyggt runt sex breda problemområden där det primära målet har varit att utveckla teknologier som kan användas för att åtgärda vanliga underhållsproblem. Dessa teknologier skall leda till förlängd livslängd för befintliga anläggningar och ge kostnadsbesparingar.

Miljöpåverkan var från början ett enskilt område men har efterhand istället integrerats med de övriga. Inom respektive problemområde behandlas material, konstruktioner, nedbrytning och nedbrytningshastighet, reparationsmetoder och fallstudier (åtgärdsalternativ och genomförande).

Sex enheter inom Waterways Experimental Station har ansvarat för var sitt delområde. Dessa är:

1. Betong och stål

Arbetet inom området betong och stål har varit fokuserat mot metoder för att göra tillståndsbedömningar över och under vatten, mot underhålls- och reparationsmetoder och mot konstruktionsmaterial. Det material som sammanfattas i informa-

¹ US Corps of Engineers civila uppgifter omfattar planering och anläggnings- och underhållsarbeten av de vattenbyggnadskonstruktioner som återfinns i floder, hamnar och andra vattenvägar. Verksamheten omfattar även reglering av vattenvägar.

tionsbladen (Bilaga 1) är i hög grad knutet till dokumentationen från detta område.

2. Geoteknik

Grundläggningsproblem har utgjort det primära FoU-området inom geoteknik. Ett exempel är framtagandet av reviderade stabilitetskriterier för befintliga konstruktioner vilka har medfört stora besparingar genom att onödiga stabilitetsförhöjande insatser har kunnat undvikas. I slutfasen av REMR-programmet har arbetet inriktats mot bland annat geomekanisk modellering och användning av geofysiska metoder.

3. Hydraulik

Inom hydraulikområdet har WES bland annat koncentrerat arbetet mot att minimera problem med erosion i vattenleder. Ett datorverktyg kallat STREMR har utvecklats för att analysera flödesförhållanden nära hydrauliska konstruktioner.

4. El och mekanik

Forskning och utveckling inom el- och mekanikområdet har koncentrerats mot underhållsproblem, ersättningsmaterial och arbetsprocedurer. Ett exempel är tekniker för att åstadkomma beläggningar för korrosionsskydd under vatten.

5. Kustnära tillämpningar

Enhetens verksamhet omfattar studier av åldringsprocessers effekt på kustnära konstruktioner. Forskning och utveckling har bland annat resulterat i en akustisk skannerteknik anpassad för denna typ av miljöer.

6. Förvaltning

Forskning och utveckling har resulterat i ett sammanhållet förvaltningssystem för en rad olika typer av konstruktioner. Systemet omfattar datainsamling, datahantering, underhåll, reparationsalternativ och analys av livscykelkostnader.

Förvaltningssystemen kan användas för att effektivisera arbetet med planering och budgetering av underhålls- och reparationsinsatser på befintlig infrastruktur. Arbetet har skett i samarbete med de delar av Corps of Engineers som ansvarar för anläggningarna. Systemen förväntas förbättra möjligheten till att utvärdera alternativa reparations- och underhållsåtgärder och utgör också ett bra verktyg för att övervaka utvecklingen av anläggningarnas kondition över tiden.

2.3 Redovisningsformer

Mycket möda har lagts ned för att göra resultaten från forskningsprogrammet tillgängligt både för de grupper som arbetar med frågorna praktiskt och för de som arbetar med forskning och utveckling. Inledningsvis koncentrerades informationen till ett antal olika skrifter med skilda målgrupper (för publikationslistor se Bilaga 2-4). Under slutfasen har en allt större del av materialet förts över till digitala media, främst Internet. Via Internet finns dessutom två databaser tillgängliga – en materialdatabas och en referensdatabas.

1. REMR-bulletinen

REMR-programmet har utkommit med en bulletin fyra gånger om året under programperioden, d.v.s. mellan 1984 och 1998 (se Bilaga 2). Varje nummer innehåller 2-3 tekniska artiklar som skrivits i en form som är användaranpassad. Författare till artiklarna är dels WES egen forskningspersonal, dels underhållspersonal som beskriver egna erfarenheter om reparationer och underhåll. Med början 1995 finns artiklarna tillgängliga via Internet.

Internetadress: <http://www.wes.army.mil/REMR/bulls/articles.html>

2. Tekniska rapporter

Resultaten från Forskning och utveckling har dokumenteras i vetenskapligt granskade tekniska rapporter. I dagsläget (oktober 1998) har 159 tekniska rapporter publicerats. Ett gott betyg åt kvaliteten på rapporterna är att de är flitigt refererade i europeiska och amerikanska vetenskapliga artiklar.

3. Tekniska informationsblad

Inom REMR-programmet har ett system av tekniska informationsblad byggts upp vilka regelbundet publicerats under programperioden. Vid programmets slutfas uppgick dessa till 3 pärmar. Syftet har varit att ge kortfattad information om specifika produkter eller teknologier. Informationsbladen har blivit ett mycket uppskattat hjälpmedel för myndigheter och tekniska konsulter.

Informationsbladens sidantal varierar mellan 2 till 19 sidor, och är oftast färre än 4 sidor. Varje enskilt blad inleds med en beskrivning av vilket motiv och syfte som den information som avhandlas har t.ex. specifika reparationer, utvärderingar och underhållsåtgärder. Vidare behandlas när och hur olika teknologier skall användas liksom fördelar och nackdelar, kostnader, produkternas eller servicens tillgänglighet samt erforderad arbetsinsats.

Samtliga informationsblad har konverterats till pdf-format² och finns tillgängliga via Internet. Materialet kommer dessutom att distribueras på CD-ROM under 1998.

Internetadress: <http://www.wes.army.mil/REMR/tn.html>

² Pdf-filer är ett filformat som är vanligt förekommande på Internet. Filerna utgörs av sökbara elektroniska dokument som har samma utseende som original producerade i annan programvara, t.ex. med ett ordbehandlingsprogram. Filerna kan öppnas med gratisprogram av typen Adobe Acrobat Reader.

4. Materialdatabas

Materialdatabasen innehåller information om kommersiella produkter för reparation och underhåll och anvisningar om hur de används i specifika tillämpningar, d.v.s. informationen handlar om de resultat som har erhållits i REMR-programmet. 1997 innehöll databasen information om över 1800 produkter³. Databasen erbjuds kostnadsfritt via Internet till potentiella användare och kommer att drivas vidare och kontinuerligt uppdateras även efter det att REMR-programmet avslutats [2]. Ett expertsystem för val av metoder och material vid reparationer av betong är under uppbyggnad och kommer att fogas till materialdatabasen.

Internetadress: <http://www.wes.army.mil/REMR/remr.html#bulletin>

5. Referensdatabas

Referensdatabasen är en informationskälla för tekniska referenser som är avsedd för personer involverade i:

- Reparationer, utvärderingar, underhåll och renovering av kustnära-, betong- och stålkonstruktioner.
- Olika åtgärders miljöeffekter.
- Geotekniska och hydrauliska problem.
- Förvaltning.

Referenserna gäller REMR-programmets övriga publikationer. Databasen är tillgänglig via Internet.

Internetadress: <http://www.wes.army.mil/REMR/remr.html#bulletin>

6. Instruktionsvideor

Ett mindre antal instruktionsvideor har tagits fram som beskriver olika delar av REMR-programmets verksamhet.

³ Ett problem som finns vad gäller specifika produkter i materialdatabasen, och vad gäller övriga materialreferenser, är att produktnamn kan skilja sig åt mellan Europa och USA.

3. Övergripande resultat från FoU inom betongområdet

Den sammanställning av REMR-programmets forskning och utveckling som görs i Bilaga 1 omfattar valda delar av ett mycket omfattande material. Som nämnts tidigare så har genomgången varit koncentrerad till de delar av materialet som relaterar till betongfrågor. I detta kapitel görs en kortfattad sammanställning av det material som har gått igenom.

3.1 Tillståndsläget för US Corps of Engineers betongkonstruktioner

I REMR-programmets inledningsskede gjordes en omfattande genomgång av tillgängligt historiskt material för de vattenbyggnadskonstruktioner som US Corps of Engineers ansvarade för. En databas med över 10.000 rapporterade skador upprättades, vilket möjliggjorde samkörning med andra grundläggande uppgifter. Den påföljande utvärderingen har utgjort en mycket viktig plattform för REMR-programmets fortsatta inriktning vad gäller utvecklings- och forskningsinsatser.

Utförligare information om arbetet finns i Informationsblad Nr. 1 (Bilaga 1).

3.2 Riktlinjer för konditionsbedömning

En konditionsbedömning av en betongkonstruktion innebär en omfattande genomgång av konstruktionens utformning, konstruktionsteknik, ingående material, samt av drifts- och underhållshistoria. Några exempel på varför sådana bedömning genomförs är:

- För att bestämma betongens prestanda gentemot framtida förhållanden.
- För att identifiera processer eller material som orsakar nödläge eller sätter en konstruktion ur funktion.
- För att upptäcka förhållanden som orsakat eller bidragit till fullvärdig funktion, eller som lett till funktionsfel.
- För att kunna välja reparationsmetoder som inte äventyrar konstruktionens framtida funktion.
- För att bestämma konstruktionens status gentemot etablerade kravspecifikationer.

Grunderna i de metoder och inspektionsprocedurer som Corps of Engineer's och andra myndigheter i USA använder sig av vid utvärdering av betongkonstruktioners kondition sammanfattas i Informationsblad Nr. 2 (Bilaga 1).

3.3 Förvaltningssystem

WES har inom REMR-programmet utvecklat ett förvaltningssystem (managementsystem) som kan användas för att effektivisera arbetet med planering och budgetering av underhålls- och reparationsinsatser på befintlig infrastruktur. Systemet har anpassats till olika konstruktioner och konstruktionsdelar och består i allmänhet av fyra delmoment:

1. Genomgång av bakgrundsmaterial.
2. Inspektion, besiktning och utvärdering av en konstruktions kondition.
3. Genomgång av olika underhålls- och reparationsalternativ.
4. Livscykelanalys.

Tillämpningen grundar sig på en väl strukturerad information om betongens tillstånd. För att klara detta har ett särskilt system för att klassificera skadors art och grad tagits fram, ett s.k. konditionsindex (KI). Denna utförs i steg 2 ovan.

Genom att på ett kvantitativt och konsistent sätt beskriva konditionen för den anläggning eller det objekt som studeras möjliggör konditionsindexeringen att en specifik anläggning kan jämföras med andra objekt. Vid återkommande undersökningar kan konditionsutvecklingen följas upp. Dessutom kan prognoser över anläggningens framtida tillstånd upprättas. Ett team om två erfarna inspektörer skall kunna utföra en komplett KI-inspektion på 2 dagar.

Tillvägagångssättet redogörs vidare för i Informationsblad Nr. 3 (Bilaga 1).

3.4 Metoder för oförstörande provning

Undersökningar med oförstörande provningsmetoder (ofp) kan göras av flera olika anledningar, vilka i regel kan hänföras till tre nyckelområden:

- Att fastställa en konstruktion/konstruktionsdels utformning (t.ex. att bekräfta överensstämmelse med konstruktionshandlingar).
- Att upptäcka ytliga, dolda eller begynnande skador i en konstruktion.
- Att karakterisera och kvantifiera identifierade skador.

Det ligger en distinkt skillnad i ambitionsnivå mellan att upptäcka en skada och att karakterisera och kvantifiera en skada med ofp-metoder. I det förra fallet räcker det med att den teknik som används klarar av att identifiera att en skada existerar samt att ge ungefärlig information om var skadan finns och hur stor den är. En ofp-metod som skall användas för att karakterisera och kvantifiera en skada bör kunna ge så pass detaljerad information att en teknisk utvärdering av skadans effekt på konstruktionens säkerhet kan göras.

Några exempel på erfarenheter av oförstörande provningsmetoder från REMR-programmet redogörs för i Informationsblad Nr. 4-6 (Bilaga 1).

3.5 Exempel på specifika problem för tillståndskontroll av dammkonstruktioner

1. Rörelser och deformationer i dammkonstruktioner är en orsak till att skador uppkommer. Inom REMR-programmet har mätförfarandet för två typer av deformationsmätningar automatiserats: lodlinjemätningar och mätningar

baserade på differentiell GPS (Global Positioning System). Genom automatiseringen kan fortlöpande mätserier över en dammkonstruktions rörelser byggas upp (se Informationsblad Nr. 7).

2. Ett allmänt dåligt eller eftersatt underhåll visar sig speciellt i form av skador på de delar av en betongkonstruktion som befinner sig under vatten. Eftersom det är komplicerat att utföra inspektioner under vatten så är det besvärligt att ta fram bra underlag för åtgärdsplanering. Till viss del beror svårigheterna på att det sällan finns sakkunnig personal tillgänglig som både kan utföra ett professionellt undervattensarbete och samtidigt är expert på skadebedömning. Inom REMR-programmet har en sammanställning gjorts av tillvägagångssätt för tillståndskontroll av undervattenskonstruktioner (Informationsblad Nr. 8).

3.6 Metoder för att avlägsna skadad betong inför reparationsarbeten

Att avlägsna skadad betong är förknippat med höga kostnader. Det finns ett flertal metoder finns att tillgå och valet styrs i regel av faktorer som lokala förhållanden, tidsaspekter, arbetets omfattning och betongens kvalitet. Ofta är flera metoder lika bra och på det sättet blir kostnadsaspekten av avgörande betydelse. WES har gjort en genomgång av metoderna, vilka faller inom sex olika teknikgrupper. Genomgången följs av en redovisning av urvalskriterier för respektive grupp, och de hänsynstagande som krävs i övrigt. En sammanfattning av arbetet görs i Informationsblad Nr. 9 (Bilaga 1).

3.7 Reparationer av sprickor och avskalningsskador

Sprickor hör till den typ av skador som har lett till allvarliga eller mycket allvarliga konsekvenser för vattenbyggnadskonstruktioner. Avskalningsskador är däremot ofta av mindre allvarlig karaktär. REMR-programmet innehåller ett omfattande material om metoder för att reparera sprickor och avskalningsskador i betongkonstruktioner. En översikt ges i Informationsblad Nr. 10 (Bilaga 1).

3.8 Reparationer med geomembraner

Sprickor i betongdammar medger att vatten kan tränga in i eller genom konstruktionen. Trots att konventionella reparationsmetoder kan vara effektiva så kvarstår i regel efter ett antal år ett behov av mer genomgripande reparationsinsatser. Användande av geomembraner kan vara en lösning för att långsiktigt förbättra en skadad konstruktion. Mångårig erfarenhet av detta finns i Europa och studier har även genomförts inom REMR-programmet. Den erfarenhet som tillverkningsindustrin har av dessa artificiella material är fortfarande för kort för att förutse dess beständighetsegenskaper. Tillverkarna strävar efter att förbättra egenskaperna, främst vad gäller styrka och kemisk- och bakteriell hållbarhet. Förutom vid dammbyggande så har geomembran på senare år använts i allt större omfattning som täta barriärer i t.ex. kanaler och lagringsbassänger.

Då en dammkonstruktion skall repareras med ett geomembran görs i allmänhet installationen på ett sådant vis att materialet antingen utgör en del av en fyllningsdams tätkärna, eller att det bildar ett nytt tätskikt på uppströmssidan av en fyllnings- eller en betongdamm. Utförligare information återfinns i Informationsblad Nr. 11 (Bilaga 1).

3.9 Reparationer med prefabricerade betongelement

En av de reparationsmetoder som REMR-programmet vidareutvecklat och som har visat sig fungera mycket bra är att använda prefabricerade betongelement vid reparationsarbeten av nedslitna eller skadade betongkonstruktioner. Projektet initierades i början av 80-talet i ett försök att komma till rätta med sprickbildningar i ung betong vid konventionella reparationer. Det ansågs dessutom viktigt att korta ner den tid som de aktuella anläggningarna (främst slussbassänger) behövde tas ur drift vid reparationsarbetena.

Reparationer med hjälp av prefabricerade betongelement ger en betongyta med överlägsen hållfasthet och minimal sprickbildning. Metoden är dessutom kostnadsmässigt konkurrenskraftig jämfört med konventionella reparationsmetoder som baseras på platsgjuten betong. En sammanfattning av metoden görs i Informationsblad Nr. 12 (Bilaga 1).

3.10 Antiurvaskningsmedel för undervattensgjutning av betong

Om skador har uppstått under vatten kan en reparation utföras antingen genom att det skadade partiet torrläggs eller genom att använda metoder som kan utföras under vatten. I det senare fallet kan undervattensgjutning med betong vara aktuellt. En relativt ny typ av tillsatsmedel, s.k. antiurvaskningsmedel (AUV), har medfört att problem som tidigare varit förknippat med undervattensbetong, d.v.s. bristande kvalitet genom urvaskning av cement och finmaterial, kan undvikas. AUV-medlens huvudfunktion är att förhindra urtvättning av cementpasta genom att göra betongmassan kladdig och trögflytande.

Eftersom reparationsmetoder där vattennivån i dammagasinet inte behöver avsänkas är av stor ekonomisk vikt genomförde WES under slutet av 80-talet ett laboratoriestudie där AUV-medlens egenskaper utvärderades. En sammanfattning av arbetet görs i Informationsblad Nr. 13 (Bilaga 1).

3.11 Reparationsmaterial för erosionsskador

Skibord, utskov och energiomvandlare är konstruktionsdelar som är speciellt utsatta för erosionsskador i form av kavitation och nötning. Kavitation kan uppstå i situationer med hastigt strömmande vatten, speciellt över ojämna ytor eller vid abrupta nivåskillnader. Vid tillräckligt hög vattenhastighet bildas ett lokalt undertryck och ångbubblor bildas som följer med vattnet vidare nedströms. När bubblorna når områden med normalt tryck, d.v.s. när vattenhastigheten sjunker, så imploderar de och ger upphov till chockvågor. När en sådan chockvåg träffar en betongyta så induceras höga spänningar över en avgränsad yta vilket kan resultera i en punktskada. Betongytans råhet kommer då att öka vilket i sin tur kan leda till tilltagande kavitationsproblem. Om det dessutom förekommer suspenderat material i vattnet, eller om det finns grus och sten över betongytan, så förvärrar strömmande vatten effekten ytterligare genom nötning. Vid långvarig nötningsexponering fås skadeverkning oavsett betongkvalitet. Ytterligare information återfinns i Informationsblad Nr. 15 (Bilaga 1).

3.12 Reparationer av läckande dilationsfogar

För att förhindra att vatten transporteras genom de fogar som finns mellan en konstruktions enskilda betongmonoliter så bygger man i regel in någon form av fogband. Både styva och flexibla material förekommer. Ett läckage uppstår om fogbandet av någon anledning skadas och i vissa fall kan en sådan skada medföra att konstruktionens funktion och säkerhet hotas. En anläggnings skadehistoria ger ofta liten eller ingen anvisning om orsaken till de läckageskador som inträffat. Man tror dock på goda grunder att läckagen många gånger uppstår till följd av skador på dilationsfogarnas fogband.

En sammanställning av ett antal reparationsprojekt och en genomgång av reparationsmetoder görs i Informationsblad Nr. 16 (Bilaga 1).

3.13 REMR-material utöver det som tas upp i informationsbladen:

Det finns ett flertal betongrelaterade projekt i REMR-materialet som inte har tagits upp i informationsbladen ovan. Bland dessa kan nämnas inspektioner genom undervattensfilmning, rengöring av betongytor under vatten, beläggningar och ytbehandlingar. Injekteringsrelaterad FoU behandlas till viss del i fallstudierna i Informationsblad 15 och 16. Utöver detta finns det i REMR-materialet även utförlig information som rör injekteringsområdet.

4. Diskussion och slutsatser

4.1 Skadeinventering

En viktig del i REMR-programmets inledningsskede var den genomgång av skadehistorier som utfördes utifrån referensmaterial från ett stort antal vattenbyggnadskonstruktioner i USA. Resultatet visar att för allvarliga skador finns det ett klart samband mellan ökande medelålder på vattenbyggnadskonstruktioner och antalet fall med undermålig betong. Däremot saknas en klar korrelation mellan det totala antalet observerade skador och betongkonstruktioners medelålder vilket till stor del beror på att merparten av rapporterade skador är att beteckna som ringa, d.v.s. det är vanligt med ringa skador oberoende av en konstruktions ålder. En viktig slutsats från utredningen blir således att vid fortsatt drift, med påföljande successivt ökande medelålder, så kommer antalet skadefall som kräver reparationsåtgärder att öka. Vidare visar inventeringen att dokumentationen från utförda reparationer endast i mindre omfattning (16 %) är så pass utförlig att skadeorsaken kan fastställas. Som helhet gav reparationerna och underhållsåtgärderna gott resultat i endast hälften av fallen. För 35 procent var resultatet antingen dåligt eller misslyckat.

Skadeinventeringen som helhet medförde att WES kunde identifiera speciellt viktiga områden för fortsatt forskning och utveckling med siktet att kunna bibehålla en konstruktion så att den fungerar drifts- och säkerhetsmässigt på ett ekonomiskt försvarbart sätt.

Svenska konstruktioner skiljer sig förmodligen inte i någon större utsträckning från de amerikanska. De flesta kraftanläggningar i Sverige byggdes under perioden 1900-1960 och i takt med dessa blir allt äldre så kommer reparationsbehovet att öka. Detta problem är också uppmärksammat. Sedan 1997 finns ett centralt skaderegister på försök för den svenska kraftindustrins anläggningar. En genomgång av historiskt material vore dock värdefull och arbete med att upprätta ett sådant register pågår för närvarande vid enheten för betongteknik vid Vattenfall Utveckling i ett projekt finansierat av Elforsk [4]. De båda registren kommer att utvisa om skadebilden för svenska anläggningar stämmer överens med erfarenheterna från REMR-programmet.

4.2 Förvaltningssystem

Det finns ett flertal fördelar med att införa förvaltningssystem i den löpande verksamheten vad gäller tillsyn, underhåll och reparation av vattenkraftskonstruktioner. Framförallt kan anläggningarnas tillstånd kvantifieras vilket möjliggör dels konsistenta jämförelser med andra objekt (vilket kan vara till hjälp vid prioriteringar), och dels att en enskild konstruktions utveckling kan följas över tiden. Vidare kan prognoser över anläggningens framtida tillstånd upprättas vilket underlättar planering och budgetering av reparationsarbeten. Ett bra system möjliggör dessutom en strukturerad uppföljning av huruvida utförda underhålls- och reparationsarbeten givit det resultat som avsetts

WES erfarenheter hitintills visar att man tack vare de inspektioner som ingår som del i systemen har lyckats identifiera skador som tidigare kontroller förbisett.

Bland de organisationer i Sverige som arbetar med förvaltningsfrågor av betongkonstruktioner kan nämnas Vattenkraftsindustrin (dammar) och Vägverket och Banverket (broar). Mycket arbete återstår dock att göra på området.

4.3 Oförstörande provning

Ett bra beslutsunderlag är väsentligt då val av reparationsmetod skall göras och i detta sammanhanget bör användandet av oförstörande provningsmetoder ha en viktig roll. Detta genom att vid besiktningar möjliggöra upptäckt, och eventuellt även karakterisering, av skador. Skadornas betydelse för den fortsatta livslängden kan sedan bedömas. Andra skeden då ofp kan vara aktuellt är då en skada har uppmärksamats på en konstruktion och en handlingsplan behöver tas fram, eller då en reparationsåtgärd behöver följas upp.

Under REMR-programmets 14 år har det skett mycket på utvecklingssidan vad gäller tekniker för oförstörande provning både inom och utanför WES forsknings- och utvecklingsinsatser. Ett flertal demonstrationsstudier på betongkonstruktioner har genomförts vilka i vissa fall har medfört att stora kostnadsbesparingar har kunnat göras, bland annat genom användandet av akustiska metoder. De undersökningar som presenterats visar även på det inneboende problemet med att ett visst mätresultat kan motsvaras av flera möjliga orsaker.

Även om den allmänna inställningen bland inblandade parter ofta är att ett ökande användande av oförstörande provning är väl befogat så går det praktiska införandet av trögt i Sverige. Planering av framtida demonstrationsprojekt liknande de som utförts inom REMR-programmet pågår för närvarande.

Metoder för oförstörande provning är ofta även lämplig i samband med automatisk övervakning. Övervakningstekniker håller på att bli ett kostnadseffektivt verktyg inom allt fler områden. Redan idag finns system framtagna för bl. a. fyllningsdammar (inre erosion).

4.4 Reparationer

Det betonas i REMR-programmet att det i samband med planering av åtgärder är av stor vikt att en noggrann utvärdering av skadors orsaker kommer till stånd inför val av åtgärdsmetod. Detta kan förefalla som en självklarhet, men blir inte alltid fallet när det gäller skadeutredningar genom att en sådan utvärdering också bör innefatta konstruktionens funktion (laster och rörelser) och de krav som skall ställas på ersättningsmaterialen för att tillförsäkra god beständighet hos reparatio-
nen.

Tillverkare av reparationsmaterial erbjuder många gånger färdiga materialsystem, d.v.s. det rör sig inte om ett fåtal olika material utan om en lösning som baseras på olika ingående material och olika recept. Eftersom det kan vara svårt att utvärdera huruvida ett visst recept är bra eller inte så bör man om möjligt utföra ett test av alternativa material inför en större reparation. Detta sätt att arbeta har varit vanligt i de demonstrationsstudier som utförts inom REMR-programmet.

WES skadeinventering visar att betongsprickor utgör den dominerande skadety-
pen på US Corps of Engineers betongkonstruktioner. Flertalet sprickor är av mindre allvarlig karaktär men totalt sett så är det ändå så att sprickor står för ¼ av de allvarliga eller mycket allvarliga skadorna. Härvid betonar WES såväl vikten

av förståelsen för sprickors orsak och framtida rörelser som valet av lagningsmaterial och utförandeteknik. Både kemiska och cementbaserade injekteringsmedel har testats och för spricklagning förordas att man efter noggrann kartering av sprickor och sprickvidder planerar borrning av injekteringshål och att man vid injektering kontrollerar hålens funktion och utfyllnaden av injekteringsmedlet. Såväl god spricktätning för att förhindra fortsatt läckage som vidhäftning över sprickan för att återfå monolitisk verkan hos konstruktionen uppges kunna åstadkommas med kemiska injekteringsmedel. För cementbundna injekteringsmedel har i många fall förnyad injektering krävts efter några år till följd av materialförluster.

Problemet med injektering med cementbruk pekar på de problem som man kan få vad gäller beständigheten och funktionen hos genomförda åtgärder. Denna aspekt har inte till fullo kunnat utläsas som resultat av REMR-programmet, även om det expertsystem för val av metoder och material som kommer att fogas till materialdatabasen förmodligen kommer att öka insikten om detta. Risken är annars att nya nedbrytningsmekanismer skulle kunna initieras vid genomförda åtgärder med nya material, vilket förefaller att inte ha beaktats i så stor utsträckning vid planering av reparationer. Man är dock medveten om detta, t.o.m. betonar det, men det har varit och är en aspekt som det är svårt att ta hänsyn till.

Ett system som bedöms som lyckat för att reparera omfattande skador på större konstruktionsdelar har varit att använda prefabricerade betongelement som förankras i den bakomliggande konstruktion och därmed tjänar som form vid pågjutningen. Vinsten blir kortare avställningstider och en motståndskraftig betongyta jämfört med traditionell platsgjutning efter formsättning.

Eftersom avställningen av en konstruktion tar en väldigt stor del av den totala kostnaden för en reparation så finns det stora vinster att göra om reparationen kan utföras under vatten. Två metoder som kan användas för detta är undervattensgjutning av betong eller applicering av ett geokompositmaterial, d.v.s. ett material som består av ett geomembran i kombination med ett dräneringsskikt.

Betonggjutningar under vatten har utförts under lång tid men kvalitetsproblem genom utvaskning av cement och finmaterial har gjort att användningen varit begränsad. Utvecklingsarbete på materialsidan har resulterat i en relativt ny typ av tillsatsmedel som minskar risken för urvaskning kommit till användning, s.k. anti-urvaskningsmedel (AUV). Omfattande tester inom REMR-programmet har visat på de positiva egenskaper som man kan uppnå. Även vid reparationer har AUV-modifierad betong visat sig fungera bra, vilket också framgår av erfarenheter från Sverige [5]. En kritisk negativ egenskap är dock att AUV-betong får en dålig frostbeständighet. Detta har visat speciellt visat sig i samband med frostprovning i saltlösning. Inte desto mindre redovisar [6] lyckade resultat från en reparation med AUV-betong som nyligen utförts på en frostutsatt slusskonstruktion i Kanada.

En ökad användning av geomembraner vid reparationer verkar vara ett faktum. Speciellt finns det fördelar med detta förfarande när det går att utföra installationen utan att en anläggning behöver tömmas på vatten. Ett utvecklingsprojekt mellan WES och en tillverkare har resulterat i att det nu finns system för installation av geomembran under vatten tillgängligt på marknaden. Stora tids- och kostnadsbesparingar kan därmed uppnås. Den materialutveckling som har skett under senare år har vidare medfört att installationer kan göras på dammar som befinner

sig i kalla regioner med såväl snö- som ispåfrestningar. Exempel på detta finns i italienska alperna. Än så länge finns det inga exempel på större dammreparationer med geomembraner i Sverige.

4.5 Slutord

Upplägget av REMR-programmet bidrar till en intressant helhetsbild där materialanalyser, teoretiska modeller och genomförda reparationer kopplas samman. I programmet finns många intressanta erfarenheter att inhämta och svenska erfarenheter av problem och lösningar bör ställas mot de redovisade resultaten. Helhetsbilden underlättar identifiering av framtida angelägen forskning och utveckling.

Som nämndes inledningsvis har besparingar erhållits genom tidsvinster, billigare utföranden, och noggrannare verifiering av funktionskrav. Andra generella positiva resultat från projektet är att:

- Ett arbetssätt har etablerats.
- Metoder finns för utredning av skada och orsak där hänsyn tas till faktorer som laster, rörelser och miljö.
- Val av åtgärdsalternativ har kunnat kopplas till forskning och utveckling.
- Genomförandet har kunnat följas upp och erfarenheterna har återkopplas till fortsatt forskning och utveckling.

5. REFERENSER

- [1] VAST (1991). *Betong i vattenkraftanläggningar*, Kraftverksföreningens Utvecklingsstiftelse, ISBN 91 8733070, 111 s.
- [2] Waterways Experimental Station (1997). REMR research program approaches final year, *The REMR Bulletin*, Vol. 14, Nr. 2.
- [3] McDonald, J. E. och Campbell, R. L., Sr. (1985). The condition of Corps of Engineers civil works concrete structures, Final Report, Technical Report REMR-CS-2, 46 s.
- [4] Björkenstam, E. (1998). Inventering: Kartläggning av skador och reparationer i betongkonstruktioner, Rapport UC 98:4Ö, Vattenfall Utveckling, Älvkarlebylaboratoriet, s. 15-17.
- [5] Hansson, P. (1995). Undervattensgjuten betongs vidhäftning till gammal betong, Elforskrapport 95:5B, 20 s.
- [6] Khayat, K. H. och Gaudreault, M. (1997). Underwater repair of the St. Lambert Lock: A case study in severe winter conditions, *Concrete International*, Vol. 19, Nr. 3, s. 36-40.

Bilaga 1. Sammanfattande tekniska informationsblad

Följande 16 informationsblad sammanfattar valda delar av REMR-programmets material. Vägledande vid valet av frågeställningar har varit forskning och utveckling som relaterar till betongkonstruktioner.

NR.	TITEL	SIDA
1	Tillståndsläget för Corps of Engineers betongkonstruktioner.	1-1 – 1-5
2	WES riktlinjer för att undersöka konditionen hos befintliga betongkonstruktioner.	2-1 – 2-3
3	Förvaltningssystem: konditionsindexering av befintlig infrastruktur.	3-1 – 3-4
4	Fallstudie: inspektion av hålrum med hjälp av metoderna pulseko och radar.	4-1 – 4-3
5	Fallstudie: detektering av läckage med hjälp av akustisk emission.	5-1 – 5-3
6	Metoder för oförstörande provning av betong: Ultrasonic Pulse-Echo (UPE).	6-1 – 6-3
7	Tillståndskontroll av betongkonstruktioner: rörelsemätning.	7-1 – 7-4
8	Tillståndskontroll av betongkonstruktioner under vatten.	8-1 – 8-4
9	Metoder för att avlägsna skadad betong.	9-1 – 9-4
10	Reparation av sprickor och avskalningsskador.	10-1 – 10-6
11	Reparation med geomembraner.	11-1 – 11-4
12	Reparation med prefabricerade betongelement.	12-1 – 12-3
13	Antiurvaskningsmedel för undervattensgjuten betong.	13-1 – 13-3
14	Reparationsmaterial för erosionsskador i betong.	14-1 – 14-2
15	Reparation av läckande fogar: fallstudier och erfarenheter.	15-1 – 15-7
16	Reparation av intag och förbindelseledningar: fallstudier och erfarenheter.	16-1 – 16-5

- ☐ Skadestatistik.
- ☐ Skadeindelning.

Tillståndsläget för Corps of Engineers betongkonstruktioner

SYFTE

Ge en översiktlig redogörelse av tillståndet för äldre betongkonstruktioner inom vattenkraftsindustrin i USA. För ytterligare information hänvisas till referenslistan.

FÖRDELAR OCH BEGRÄNSNINGAR

Den genomgång som WES har gjort av historiskt material utgör en mycket värdefull källa för att ta fram statistik om skador på befintliga konstruktioner inom vattenkraftsindustrin. Vidare möjliggör materialet uppföljning av en ganska stor del det arbete som har bedrivits i USA när gäller att utföra reparation och underhåll.

Det finns dock vissa osäkerhetsmoment i materialet som beror på det tidigare inte har funnits någon enhetlig standard för procedurer för inspektion och rapportering av skador. Numera används WES riktlinjer för att undersöka konditionen hos befintliga betongkonstruktioner (se Informationsblad 2, 3 och 8).

BAKGRUND

Informationen baseras på en genomgång av rapporter från regelbundet återkommande inspektioner av Corps of Engineers betongkonstruktioner, med start 1965.

Corps of Engineers äger och ansvarar för driften av 536 stora dammar och 260 slussbasängar på 596 platser i USA. Sextio procent av konstruktionerna är mer än 20 år gamla (1985 års siffror), och mer än 40 procent är mer än 30 år gamla. För det stora flertalet kommer driften att upprätthållas en bra bit över den livslängd de har konstruerats för. Platsbesök och genomgång av inspektionsrapporter har visat att det för många av konstruktionerna kommer att krävas betydande underhålls-, reparations- och renoveringsinsatser framöver.

UPPRÄTTANDE AV DATABAS

Efter genomgång av anläggningarnas inspektionsrapporter har WES upprättat två databaser:

Databas 1. Beskrivning av konstruktionens utformning.

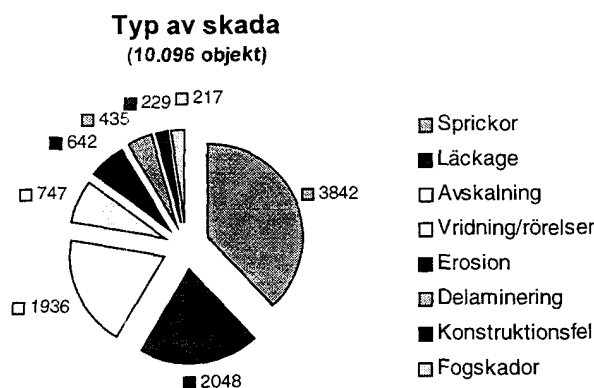
Databas 2. Beskrivning av förekommande skador och av utförda reparationer.

Databasen bygger på ett system av koder för att beskriva observerade undermåligheter, skadeorsaker, skadenivå, reparationsmaterial, reparationstekniker, och reparationernas prestanda. Databaserna har möjliggjort en god utvärdering av anläggningarnas tillstånd, vilka skadetyper som är vanliga och vilka skadetyper som har lett till allvarliga brister etc..

SAMMANFATTNING AV RESULTAT

Rapporterade skador

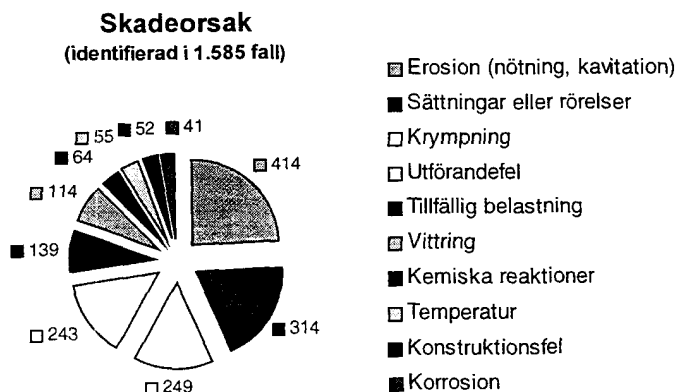
Efter genomgång av arkivmaterial från ca 2000 inspektionsrapporter har över 10.000 rapporterade skador fogats till databasen. Fördelningen på 8 olika typer av skador framgår av Figur 1-1.



Figur 1-1. Rapporterade skador från WES databas. I genomsnitt uppvisar varje anläggning 17 skador.

Skadeorsak

Den dokumentation som finns från utförda reparationer har endast till viss (16 %) innehållit uppgifter om orsaken till varför skadorna uppkommit. Dessa redovisas i Figur 1-2.

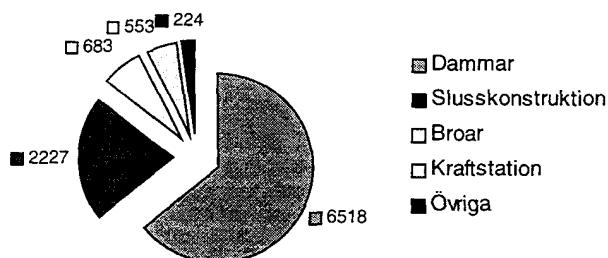


Figur 1-2. Skadeorsak för de fall där denna är känd (endast 16 % av det totala antalet skadefall).

Typ av konstruktioner som uppvisar skador

I Figur 1-3 visas skadefördelningen på olika typer av konstruktioner. Skador på dammkonstruktioner dominerar.

Typ av konstruktion där skada uppstått



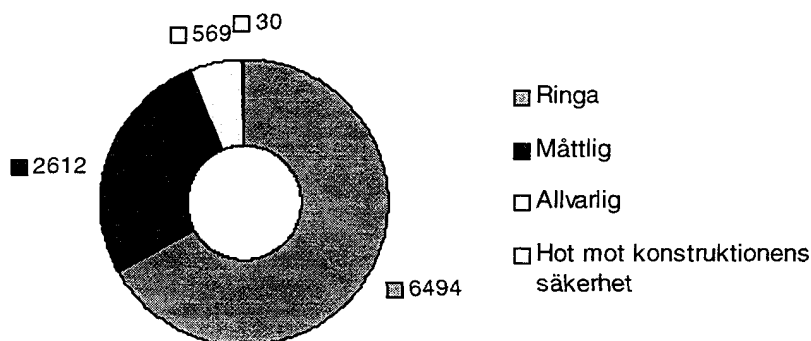
Figur 1-3. Skadefördelningen på olika typer av Corps of Engineers konstruktioner.

Skadornas omfattning

Skadornas omfattning har delats in i fyra klasser (Figur 1-4). Respektive klass karakteriseras enligt nedan:

- Skadeklass a. Ringa skada: Betongen är märkbart påverkad. Skadans omfattning är liten eller ytlig och föranleder inte någon omedelbar åtgärd.
- Skadeklass b. Måttlig skada: En skada i betongen vars relativa omfattning är betydande, alternativt en lindrig skada som är vanligt förekommande. Regelbunden tillsyn (övervakning) eller hjälpåtgärder, eventuellt i kombination, kan vara berättigad.
- Skadeklass c. Allvarlig skada: Påfallande betongskador med en relativt utbredd omfattning, alternativt, måttliga betongskador med utbredd omfattning. Regelbunden tillsyn (övervakning) eller reparation är nödvändig. Även betongskador med sådan omfattning att konstruktionen inte kan fungera som avsett. Reparation är nödvändig.
- Skadeklass d. Skada som utgör hot mot konstruktionens säkerhet: Skada sådan att om inga åtgärder görs kommer konstruktionen att behöva tas ur drift, eller att ge vika.

Skadeomfattning



Figur 1-4. Skadorna från WES genomgång har delats in i fyra klasser beroende på hur allvarlig den anses vara.

Utvärdering

96 procent av de skador som uppkommit i dammkonstruktioner klassificerades i skadeklass *a* eller *b*. Siffran indikerar att för majoriteten av de problem som finns i anslutning till dammkonstruktioner kan lösas med underhållsåtgärder i kombination med besiktningar och övervakningsåtgärder.

- Konstruktioners ålder:* Det finns ingen klar korrelation mellan en konstruktions medelålder (separata utvärderingar har gjorts för konstruktioner inom olika avrinningsområden) och det totala antalet observerade skador. Detta beror till stor del på att merparten av skadorna är att beteckna som ringa, d.v.s. ringa skador är vanligt förekommande oberoende av en konstruktions ålder. Om motsvarande jämförelse görs för skadeklasserna *c* och *d* framgår en trend där antalet fall med undermålig betong ökar i takt med ökande medelålder. En viktig slutsats blir således att vid fortsatt drift, med påföljande successivt ökande medelålder, så kommer antalet skadefall som kräver reparationsåtgärder att öka.
- Sprickor.* Betongsprickor utgör den dominerande skadetyper (Figur 1-1). I de flesta fall har sprickskadorna klassificerats som att vara av ringa eller måttlig omfattning (Figur 1-4). Även om endast 4 procent av sprickskadorna finns representerade i skadeklasserna *c* och *d*, så står sprickskador totalt sett för 25 procent av dessa skador. Detta innebär att förutom att det finns ett generellt stort behov av effektiva underhållsmetoder för att åtgärda sprickskador, så är det också viktigt att ta fram effektiva reparationsprocedurer.
- Läckage.* I de 2005 fall där det var möjligt att hänföra läckageskador till skadeomfattning, så var det i majoriteten av fallen (97 %) endast ringa eller måttliga skador.
- Avflagning.* Liksom för huvuddelen av sprick- och läckageskadorna har huvuddelen av avflagningsskadorna orsakat ringa eller måttliga skador.
- Vridning/rörelser.* I 90 procent av skadefallen var dessa typer av skador att betrakta som ringa eller måttliga. Den procentuella andelen ökade dock i omfattning för skadeklasserna *c* och *d*.
- Erosion.* I 84 procent av skadefallen var erosionsskador att betrakta som ringa eller måttliga. Erosion hade inte heller orsakat någon av skadorna i skadeklass *d*. I underlaget har dock alla observationer gjorts för konstruktioner med fyllda vattenmagasin (eller motsvarande förhållanden). Det totala antalet skador är därför troligen underskattat.
- Delaminering.* Erosion och flagningsskador var vanligaste orsak (i de fall där orsak angivits). I 77 procent av skadefallen var skadorna att betrakta som ringa eller måttliga.
- Tätning av sprickor.* Fördelningen över skadeklasserna ser här något annorlunda ut. Skadeklass *b*, måttliga skador, dominerar. Därefter följer ringa (30 %) och allvarliga skador (21 %).

ORSAKER TILL UPPKOMNA SKADOR.

Det material som utgör underlag för WES undersökning innehåller endast information om orsaken till ett mindre antal fall av skadorna. För att kunna bedöma orsaken till en skada krävs ofta undersökningar utöver rutinmässiga kontroller (t.ex. oförstörande provning, studier av borrhärdor och laboratorieanalyser).

Som helhet uppvisade utförda reparationer och underhållsåtgärder endast gott resultat i hälften av fallen. För 35 procent var resultatet antingen dåligt eller misslyckat.

Det finns ett behov av större uppmärksamhet vad gäller att dokumentera underhålls- och reparationsarbeten. Speciellt dokumentation om använda material och en uppföljning av huruvida åtgärderna resulterat i den effekt som avsetts (se även Informationsblad 16 och 17).

REFERENSER

Tekniska rapporter:

- The condition of Corps of Engineers civil works concrete structures, REMR-CS-2, 1985, 63 p.

Övrigt

Se även Informationsblad 16 och 17.

- ☐ Bedömning av kondition och livslängd.
- ☐ Undersökningsmetodik.

WES riktlinjer för konditionsbedömning hos befintliga betongkonstruktioner

SYFTE

Att sammanfatta grunderna i de metoder och inspektionsprocedurer som US Corps of Engineer's och andra myndigheter i USA har använt sig av vid utvärdering av betongkonstruktioners kondition.

TILLÄMPNING

Materialet utgör utföranderiktlinjer för konditionsundersökningar av befintliga betongkonstruktioner. Koppling finns till inom REMR-programmet utvecklade förvaltningssystem. I dessa ingår inspektioner som en viktig del (se Informationsblad 3). Utredningsarbetet utförs av personal med relevant teknisk kompetens.

FÖRDELAR OCH BEGRÄNSNINGAR

Arbets sättet innebär ett strukturerat angreppssätt för utvärdering av flödeskontroll för damm- och slussanläggningar, kraftstationer, pumphus etc.. Materialet är dock utformat som riktlinjer och skall därför inte betraktas som en gemensam amerikansk standard.

BAKGRUND

Ett rationellt val av underhålls- och reparationsmetod kan endast fattas när skadeorsak och omfattning blivit kartlagd. Nödvändigheten av regelrätta och effektiva inspektions- och utvärderingsmetoder är således uppenbar.

BESKRIVNING AV RIKTLINJER FÖR KONDITIONSUNDERSÖKNINGAR

Allmänt

Vid en konditionsundersökning av en betongkonstruktion görs en omfattande genomgång av konstruktionens utformning, konstruktionsteknik, ingående material, samt drifts- och underhållshistoria. Några exempel på varför sådana bedömning genomförs är:

- För att bestämma betongens prestanda gentemot framtida förhållanden.
- För att identifiera processer eller material som orsakar nödläge eller sätter en konstruktion ur funktion.
- För att upptäcka förhållanden som orsakat eller bidragit till fullvärdig funktion, eller som lett till funktionsfel.
- För att kunna välja reparationsmetoder som inte äventyrar konstruktionens framtida funktion.
- För att bestämma konstruktionens status gentemot etablerade kravspecifikationer.

En konditionsundersökning genomförs normalt i form av en inledande del och, i mån av behov, en fördjupad del.

Del I – Inledande undersökningar

Syftet med den första delen är att säkerställa konstruktionens allmäntillstånd och att bestämma vilket behov det finns för ytterligare undersökningar och analyser. De problem som kan finnas skall identifieras och misstänkta bristfälligheter upptäckas. I nästa fas (del II) gör man, om det visar sig nödvändigt, kompletterande fördjupade studier. De delar som kan ingå i arbetet med del I redovisas i Tabell 2-1 (steg 7 - laboratorieundersökningar ingår dock inte i Fas I).

Tabell 2-1. Undersökningar och analyser som kan göras under den första delen i en konditionsundersökning.

STEG	AKTIVITET	STEG	AKTIVITET
1	Möte med klient och definition av problem.	6	Utföra fältundersökningar.
2	Bestämma målsättning och omfattning.	7	Utföra laboratorieundersökningar.
3	Val av personal för utvärdering.	8	Analys av resultat.
4	Etablera undersökningsprocedurer och tekniker.	9	Rekommendera reparationsåtgärder.
5	Samla in och utvärdera arkivmaterial (teknisk och geologisk information).	10	Rapportera resultat.

Efter steg 5 (insamling och utvärdering av arkivmaterial) skall frågor i stil med följande kunna besvaras:

- Hur såg platsen ut innan anläggningen byggdes?
- Vad gjordes under konstruktionsarbetet som förändrade de ursprungliga förhållandena?
- Fanns adekvat information om ursprungliga geologiska förhållanden tillgänglig?
- Vilka problem förutsågs och vad gjordes för att ta hänsyn till dessa problem?
- Vilken typ av instrumentering installerades; Har de avlästs regelbundet; Hur ofta?
- Vilka problem uppstod under byggnadstiden; Vad gjordes för att ta hänsyn till dessa?
- Vilka modifikationer gjordes av konstruktionens design?
- I vilken utsträckning blev fundament och infästningar exponerade?
- Har det uppstått några betydande problem under projektets livslängd?
- Är underhållskostnaderna höga, låga eller genomsnittliga?
- Hur ofta görs inspektioner och vad består de i?
- Har instrumenteringsprotokoll upprättats regelbundet och hur har de i så fall analyserats?

En fältundersökning (steg 6) genomförs därefter i syfte att verifiera känd eller misstänkt undermålig betong eller otillräcklig prestanda. En preliminär undersökning kan omfatta:

- Bedömning av nedböjning och/eller sättningar.
- Visuell inspektion av åtkomliga betongytor.
- Undervattensinspektion av betongytor och fundament.
- Kärnborrning.
- Värdering av och/eller installation av instrumentering.

- Petrografisk undersökning och/eller test på delar av insamlat material.
- Undersökning av sekundära kemiska utfällningar i betong och/eller på betongytor.
- Utvärdering av in situ-kvaliteten på betong med hjälp av oförstörande provningsmetoder.

Del II – Fördjupade undersökningar.

En fördjupad undersökning utförs om det bedöms som nödvändigt att komplettera med ytterligare information. Exempelvis genom att utföra mätningar av relativa rörelser hos enskilda konstruktionsdelar, kompletterande visuella betongundersökningar, materialtester, samt påkännings- och stabilitetsanalyser. En laboratorieundersökning kan vara motiverad för är att (a) bestämma betongkvaliteten med hjälp av fysiska-, mekaniska- och kemiska tester, och (b) bestämma orsak till skada/nedbrytning. Jämte fysiska och mekaniska testresultat för kvalitetsbedömning, så kan resultaten användas som indata för påkännings- och stabilitetsanalyser.

En formell rapport skall skickas till ansvarig myndighet eller organisation som krävt undersökningen. Rapporten skall klart och tydligt redogöra för betongkonstruktionens (och tillhörande konstruktioner) tillstånd.

REFERENSER

Tekniska rapporter:

- ☐ Engineering condition survey of concrete in service, REMR-CS-1, 1984, 93 p.

Se även Informationsblad 3.

- ☐ Bedömning av kondition och livslängd.
- ☐ Driftsplanering.

Förvaltningssystem: konditionsindexering av befintlig infrastruktur

SYFTE

Ge en översiktlig redogörelse av WES system för konditionsindexering av infrastruktur.

BAKGRUND

WES har inom REMR-programmet utvecklat ett antal förvaltningssystem som kan användas för att effektivisera arbetet med planering och budgetering av underhålls- och reparationsinsatser på befintlig infrastruktur. Arbetet har skett i samarbete med de delar av Corps of Engineers som ansvarar för anläggningarna. Systemen förväntas förbättra möjligheten att utvärdera alternativa åtgärder och utgör också ett verktyg för att övervaka utvecklingen av anläggningarnas kondition över tiden. Hjärtat i förvaltningssystemen är WES metod för konditionsindexering vid vilken specifika anläggningars eller konstruktionsdelars kondition och funktion betygsätts. Systemens tillförlitlighet och repeterbarhet har utvärderats i omfattande fältförsök.

FÖRVALTNINGSSYSTEMENS UPPBYGGNAD

Förvaltningssystemen består i allmänhet av fyra delar:

1. Inventering.
2. Inspektion, besiktning och utvärdering av en konstruktions kondition.
3. Genomgång av olika underhålls- och reparationsalternativ.
4. Livscykelanalys.

Vid steg två upprättas ett konditionsindex (KI) för den anläggning eller det objekt som studeras. Tillvägagångssättet redovisas vidare för nedan.

FÖRDELAR OCH NACKDELAR

Genom att tillhandahålla ett kvantitativt och konsistent sätt att beskriva konditionen möjliggör konditionsindexeringen att en anläggnings kondition kan jämföras med andra objekt och, vid återkommande undersökningar, kan dess utveckling över tiden följas. Förutom detta kan prognoser över anläggningens framtida tillstånd upprättas.

Enligt referens *d* har införandet av KI-inspektionerna gjort att problem kunnat avslöjats som missats vid tidigare kontroller. En nackdel som har diskuterats är att inspektionerna har blivit relativt kostsamma för anläggningsägarna vilket skulle bero på att inspektionerna har utförts av överkvalificerade ingenjörer. Avsikten är dock att de ingenjörer som finns ute på anläggningarna själva skall kunna utföra inspektionerna. Man tror därför att kostnaderna på sikt kommer att sjunka i takt med utbildning av berörd platspersonal.

REMRs KONDITIONINDEXERING

KI-skalan sträcker sig över ett intervall från 0 till 100 (Tabell 3-1). Noll motsvaras av en ett objekt vars funktion upphört, och 100 indikerar ett objekt vars funktion är helt fri från fel. Skalan delas in i tre undergrupper. För zon 1 (70 till 100) är konditionen och funktionen så pass god att endast rutinemässigt underhåll krävs. Hos de objekt som faller under zon 3 (0 till 39) är konditionen i allmänhet så dålig att omedelbara åtgärder måste vidtas. För zon 2 gäller att konditions- och funktionsbristerna är måttliga och att möjligheterna till effektiva underhålls- och reparationsinsatser är stora.

Tabell 3-1. Skala för konditionsindexeringen.

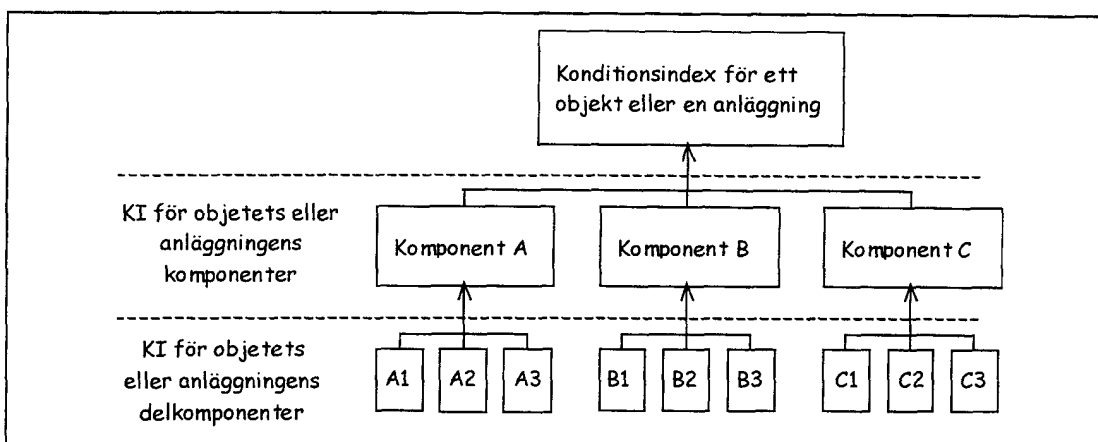
Zon	Konditions-index	Konditionsbeskrivning	Rekommenderad åtgärd
1	85 — 100	Utmärkt: Inga märkbara defekter. Viss åldring eller förslitning kan synas.	Omedelbara åtgärder krävs ej.
	70 — 84	Bra: Endast nedbrytning av mindre omfattning.	
2	55 — 69	Skälig: Viss nedbrytning eller defekter är märkbar, men påverkan på funktionen är inte utmärkande.	En ekonomisk analys av olika reparationsalternativ rekommenderas. Syftet är att bestämma en lämplig åtgärd.
	40 — 54	Ringa brister: Måttlig nedbrytning, funktionen är dock fortfarande felfri.	
3	25 — 39	Dålig: Allvarlig nedbrytning i vissa delar av konstruktionen. Funktionen är inte längre felfri.	En detaljerad utvärdering av situationen krävs. Syftet är att bestämma behovet av reparation, renovering eller rekonstruktion. En säkerhetsutvärdering rekommenderas.
	10 — 24	Mycket dålig: Omfattande nedbrytning. Konstruktionen är knappt funktionsduglig.	
	0 — 9	Brott: Funktionen upphört. Generellt eller komplett brott hos en strukturell huvuddel i konstruktionen.	

KLASSNING

I Figur 3-1 illustreras den generella arbetsgången för att ta fram ett KI. Proceduren är pyramidformad, d.v.s. man startar med konditionen för de ingående enskilda detaljerna. I nästa steg grupperas dessa och ett sammanvägt KI för delkomponenter tas fram. Slutligen kombineras samtliga delkomponenters KI till ett KI för anläggningen/objektet som helhet.

KI-klassningen upprättas utifrån upprepbara mätningar och observationer som direkt kan relateras till den fysiska konditionen och funktionen. US Corps of Engineers ger återkommande kurser i fältmetoder och datahantering för de inspektörer som skall utföra undersökningarna (se referens b). Ett team om två erfarna inspektörer skall kunna utföra en komplett KI-inspektion på 2 dagar.

KI-skalan är enhetlig för samtliga av WES förvaltningssystem men de specifika proceduren att ta fram enskilda KI-värden varierar. Likaså bestäms kravet på detaljeringsgrad i klassningen och antalet och typ av ingående komponenter av de specifika krav som ställs på en viss typ av anläggningar. Ett exempel på ett klassningssystem framtaget för att utvärdera betongen i slusskonstruktioner redovisas i referens e. De defekter som inverkar på klassningen är i detta fallet sprickor, volymförluster, nedbrytning av stål, läckage och avlagringar.



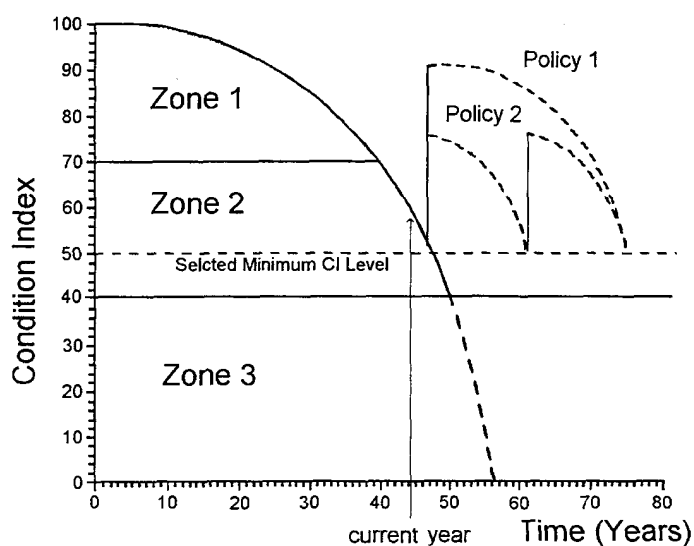
Figur 3-1. Flödesschema för en typisk konditionsindexeringsprocess.

EXEMPEL

En anläggnings KI-utveckling över tiden kan illustreras grafiskt (Figur 3-2). Informationen i grafen kan användas för att:

- Etablera mål för lägsta tillåtna konditionsnivå för en anläggning och dess komponenter.
- Jämföra fördelar och nackdelar med alternativa handlingsprogram för underhållsåtgärder.
- Bestämma när det är mest kostnadseffektivt att utföra underhållsinsatser.
- Jämföra effekten av att göra återkommande underhållsinsatser jämfört med att göra en enda större reparation.

Den vänstra halvan av grafen i Figur 2 visar en anläggnings KI-utveckling från helt felfri (KI = 100) till statusen vid exempelns nutid (KI = 60). Anläggningens lägsta tillåtna konditionsnivå har satts till 50; extrapolering visar att 50-nivån nås inom nästkommande 3-4 år. Två alternativa underhållsinsatser redovisas: policy 1 respektive policy 2. De två alternativen utvärderas mot kostnader och förväntad konditionsnivå för respektive år inom åtgärdens livslängd.



Figur 3-2. Exempel på en jämförelse av olika handlingsprogram för att genomföra nödvändigt underhåll (policy 1 respektive policy 2). Nutid i exemplet motsvaras av KI = 60. Zonindelningen förklaras i Tabell 3-1.

REFERENSER

REMR-bulletinen:

- a. Automating maintenance and repair - the REMR management systems on civil works structures, 1991, 8/1.
- b. REMR management systems training for US Army Corps of Engineers personnel, 1992, 9/1.
- c. REMR management system for earth and rock-fill embankment dams, 1998, 15/1, 2p.
- d. USACERL offers support for REMR condition index inspections, 1998, 15/1, 2p..

Tekniska informationsblad:

- e. Rating system for concrete in a navigational lock, OM-CI-1.1, 2p.
- f. The REMR condition index: condition assessment for maintenance management of civil works facilities, OM-CI-1.2, 5p.
- g. REMR management systems for civil works structures, OM-MS-1.1, 5p.
- h. REMR management system for concrete navigation lock monoliths, OM-MS-1.2, 4p.
- i. REMR management system for miter lock gates, OM-MS-1.3, 4p.
- j. REMR management system for steel sheet-pile structures, OM-MS-1.4, 4p.
- k. REMR management system for rubble breakwaters and jetties, OM-MS-1.5, 3p.
- l. REMR management system for timber dikes, OM-MS-1.6, 6p.
- m. REMR management system for sector gates, OM-MS-1.7, 4p.
- n. REMR management system for emptying and filling valves, OM-MS-1.8, 5p.
- o. REMR management system for stone riverine training dikes and revetment, OM-MS-1.9, 2p.

Tekniska rapporter:

- p. Evaluation of existing condition rating procedures for civil works structures and facilities. REMR-OM-1.
- q. REMR management system, REMR-OM-2.
- r. A rating system for the concrete in navigation lock monoliths, REMR-OM-4.
- s. Timber dike management system, REMR-OM-5.
- t. Network level REMR management system for civil work structures: concept demonstration on inland waterway locks, REMR-OM-6.
- u. Inspection and rating of miter lock gates, REMR-OM-7.
- v. REMR management systems-navigation structures: management system for miter gates, REMR-OM-8.
- w. Lockwall: A microcomputer-based maintenance and repair management system for concrete navigation lock monoliths, REMR-OM-10.
- x. REMR management systems - coastal/shore protection structures: condition-rating procedures for rubble breakwaters and jetties-initial report, REMR-OM-11.
- y. REMR management systems - navigation structures: users manual for concrete navigation lock monoliths, REMR-OM-12.
- z. REMR management systems - navigation structures: condition-rating procedures for sector gates, REMR-OM-13.
- aa. REMR management systems - navigation structures: condition-rating procedures for tainter and butterfly valves, REMR-OM-14.
- bb. REMR management systems - navigation structures, user's manual for inspection and rating, software, version 2.0, REMR-OM-15.
- cc. REMR management systems - navigation and reservoir structures, condition rating procedures for concrete in gravity dams, retaining walls, and spillways, REMR-OM-16.
- dd. REMR management systems - navigation structures, condition rating procedures for Tainter dam and lock gates, REMR-OM-17.

- ☐ Inspektion
- ☐ Oförstörande provning.
- ☐ Fallstudier.

Fallstudie: inspektion av hålrum med hjälp av ofp-metoderna puls-eko och radar

SYFTE

Ge information om REMR-programmets erfarenheter av att använda oförstörande provningsmetoder (ofp) för att upptäcka hålrum i betong på US Army Corps of Engineers befintliga betongkonstruktioner.

BAKGRUND

En tillförlitlig konditionsbestämning av äldre betongkonstruktioner är nödvändig för att utvärdera säker drift. Fram tills för några tiotals år sedan fanns endast förstörande provningsmetoder att tillgå, något som ofta innebar kostsamma och ibland även oacceptabla ingrepp. Idag finns ett flertal oförstörande provningsmetoder (ofp) tillgängliga, varav många vidareutvecklas och förbättras kontinuerligt.

Puls-eko och radar är två ofp-metoder som kan användas för att hitta hålrum och råttbon i betongkonstruktioner (i första hand luft- och vattenfyllda defekter).

FALLSTUDIE 1 (radar och puls-eko): Grundläggning av fundament, Mississippifloden

Problem

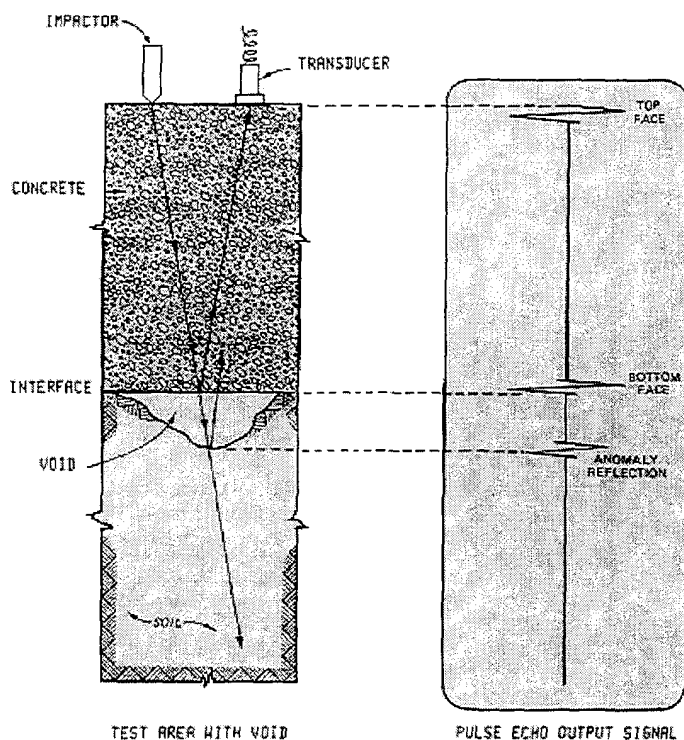
Den aktuella konstruktionen är grundlagd på flodsediment (sand). Vid en inspektion av fundamenten (betongplattor, trösklar etc.) hade dammägaren konstaterat hålrum under betongen på uppströmssidan. Skadorna reparerades med injektering. En andra undersökningsomgång genomfördes för att se om skador fanns på fler ställen. Tjocklekarna för fundamenten varierade (plattor ca 0.5 m, tröskel ca 2.7 m) liksom de yttre förhållandena (snö, sand, is och stående vatten). En kombination av två ofp-metoder valdes: puls-eko och radar.

Metod A: Radarmätningar

En radarmätning påverkas i första hand av utbredningshastigheten i de material som den elektromagnetiska vågen kan komma att transporteras genom. Utbredningshastigheten i betong är väsentligt lägre än den i luft; i vatten är den ytterligare lägre. En fuktig betong har därför en lägre utbredningshastighet än torr betong. Reflektionen vid en gränssyta avgörs av impedansskillnaden mellan skikten. Till exempel så erhålls en nära nog total reflektion vid ett gränsskikt mellan betong och stål och genom att hastigheten för vatten väsentligt avviker från hastigheten i torr betong så utgör vattenfyllda hålrum eller fuktmättad porös betong distinkta avvikelser.

Metod B: Puls-ekomätningar (PE)

En variant till puls-ekometoden, ultrasonic puls-ekometoden (UPE), finns beskriven i Informationsblad 6. Skillnaden är gentemot puls-ekometoden består i vilken typ av energikälla som används. För puls-ekometoden användas en hammare enligt exemplet i Figur 4-1. Mätsignalen från en mätning (högra delen) visar i det här fallet tre distinkta reflexer: över och underyta av betongen samt ett tredje eko som orsakas av ett hålrum mellan betongen och det underliggande geologiska materialet.



Figur 4-1. Skiss som visar principen för hur ett vatten- eller isfyllt hålrum under en betongkonstruktion kan upptäckas med hjälp av PE-mätningar.

Genomförande:

Resultaten från en serie mätförsök och uppföljande bormingar visade att båda metoderna fungerade som avsett. Radar hade fördelen att kunna täcka in stora ytor på kort tid, men fungerade mindre bra i de fall då betongen låg under vatten (med rätt utformad utrustning går det dock bra att mäta även under vatten). En gedigen erfarenhet krävs dock för att göra en bra tolkning av resultaten (radardiagram). PE-mätningarna krävde betongytor som var fria från snö och is. Stående vatten var dock inte något problem och resultaten från PE är relativt lättolkade. Efter utvärdering av mätförsöken valdes ett undersökningsprogram för hela anläggningen enligt Tabell 1-1.

Tabell 4-1. Undersökningsprogram för fallstudie 1.

Konstruktionsdel	Förhållande	Metod
Tröskel	Tjock betong	PE
Lucka	Stående vatten	PE
Betongrör	Täckt med is	Radar
Betonggolv	Stora ytor	Radar (i vissa fall kompletterad med PE)

Resultat:

I takt med att undersökningarna fortskred gjordes borrhinar i betongen vid misstänkta skador. Påträffade hålrum fylldes ut med injekteringsbruk; hålrum i storleksordningen 2.5 – 15 cm (djup) fanns utspridda utmed hela undersökningsområdet. Resultaten från ofp-mätningarna och borrhningarna överensstämde i över 80 procent av fallen.

Ett antal borrhningar gjordes även på platser som erfarenhetsmässigt ofta visat sig vara utsatta för skador, men där ofp-resultaten inte visat på några avvikelser. I ett avfallen hittades ett hålrum. En förnyad tolkning av ofp-resultaten gav inget nytt, vilket kunde hänföras till svåra yttre förhållanden.

FALLSTUDIE 2 (UPE): Betongstödmur (Marina del Ray, Kalifornien)Problem:

Ett släntras inträffade 1986 i Marina del Ray till följd av korrosionsskador på armeringen i en 12 kilometer lång stödmur konstruerad av 700 1.8×1.8 m² betongstycken. UPE valdes för att undersöka muren i syfte att hitta ytterligare partier med skadad armering. Man förväntade sig att erhålla signalekon från murens baksida, från intakt armering, och från hålrum som orsakats av korroderad armering.

Genomförande och resultat:

Ultraljudshastigheten i frisk betong bestämdes genom mätningar på en oskadad del av muren med känd tjocklek. 40 betongstycken valdes ut slumpvis för tester på plats och för 33 av dessa hittades defekter som inte gick att urskilja genom visuell inspektion. Mätningarna gav i vissa fall total avsaknad av urskiljbara ekon vilket indikerade att det partier med skadad och nedbruten betong. I övrigt erhöles ekon från olika djup från ytan, d.v.s. indikationer på befintlig armering, sprickor och korrosionsprodukter. Efter att borrhkärnor tagits ut kunde resultaten från ofp-mätningarna bekräftas. Den undersöknings- och reparationsstrategi som senare valdes uppskattas ha givit ägaren besparingar på \$100 miljoner (referens h).

REFERENSERREMR-bulletinen:

- a. Nondestructive testing of a foundation at Lock No. 2, Mississippi River, 1987, 4/3, 4 p.
- b. Ultrasonic pulse-echo measurements of the concrete sea wall at Marina Del Rey Los Angeles County, California, 1988, 5/1, 3 p.
- c. Nondestructive testing of concrete with ultrasonic pulse-echo, 1990, 7/4, 3 p.
- d. Use of ground-penetrating radar in nondestructive testing for voids and cracks in concrete, 1993, 10/3,

Tekniska informationsblad:

- e. System for rapid assessment of quality of concrete in existing structures, CS-ES-1.1, 2p.
- f. Nondestructive testing of concrete with ultrasonic pulse-echo, CS-ES-1.10, 4p.

Tekniska rapporter:

- g. Development of nondestructive testing systems for in situ evaluation of concrete structures, REMR-CS-10, 1987, 111p.

Övrigt:

- h. Sansalone, M. J. and Street, W. B. (1997). Impact-Echo: Nondestructive evaluation of concrete and masonry, 339 s.

- ☐ Oförstörande provning
- ☐ Konditionsbedömning.
- ☐ Fallstudier.

Fallstudie: detektering av läckage med hjälp av akustisk emission

SYFTE

Att ge information om WES erfarenheter av att använda oförstörande provningsmetoder (ofp) för att kartera läckageskador på US Army Corps of Engineers vattenkraftsanläggningar.

BAKGRUND

Vid en genomgång av rapporterade skador från US Army Corps of Engineers vattenkraftsanläggningar visade sig läckage stå för 20 % av det totala antalet skador. I majoriteten av fallen (97 %) gav dessa upphov till ringa eller måttliga skador på konstruktionerna (se även Informationsblad 1).

Inom REMR-programmet har två ofp-metoder använts för att studera läckageproblem:

1. Ett undervattenssystem för detektering av akustisk emission i samband med läckage genom betongfundament (utvecklat inom REMR-programmet).
2. Självpotentialmätningar (SP-metoden) för detektering av elektriska potentialer som beror på flöden av vätska, värme eller joner i marken. Används framförallt för att undersöka flöden genom fyllningsdammar.

SP-metoden kommer inte att avhandlas här.

AKUSTISK EMISSION

Metodbeskrivning

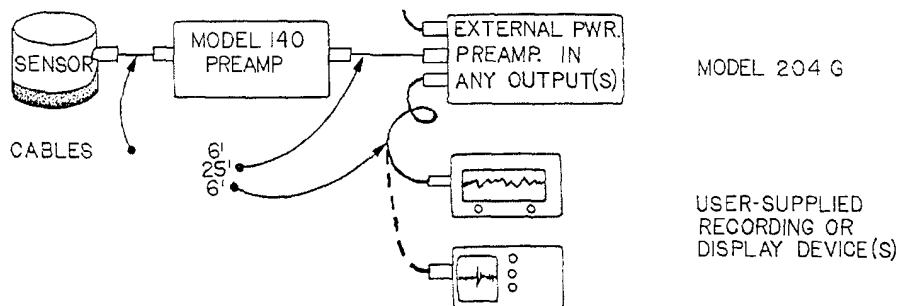
Vid akustisk emission (AE) registreras de ljudvågor som når ytan på en konstruktion efter att ha fortplantats genom materialet. Ljudvågorna kan t.ex. vara alstrade av en energipuls genererad av en spricka som öppnas. Det kan även vara möjligt att "lyssna" på förloppet då sprickan bildas, d.v.s. hur sprickan "rör" sig genom materialet och slutligen stannar upp. Metoden används främst för att detektera och karakterisera materialbrott genom att studera akustiska effekter av de plastiska deformationer som uppkommer innan själva sprickan utbildas (t.ex. i berg, betong eller injekterad jord).

De försök som har utförts inom REMR-programmet går ut på att kartlägga utbredningen av ljud orsakade av turbulent vattenströmning i erosionskanaler under en slusskonstruktions bottenplatta. Syftet med försöket kartläggning av okända flödesvägar i samband med reparationsåtgärder.

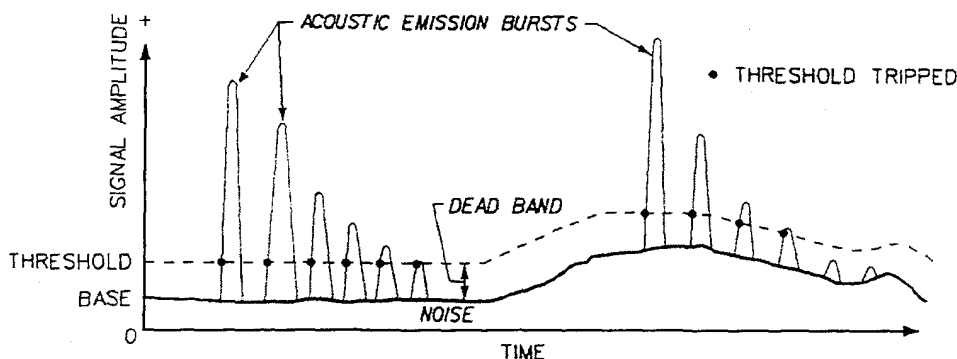
Utrustning

Utrustning för akustisk emission finns kommersiellt tillgänglig både i form av portabla system och system avsedda för fast installation (övervakning). Den består av en eller flera sensorer (piezoelektriska transdusers), förstärkare, A/D-omvandlare och dator.

Den AE-utrustning som använts i WES undersökning framgår av Figur 5-1. Systemet registrerar endast impulsfrekvens för akustisk emission (AE-aktiviteten), d.v.s. inte själva signalens utseende (Figur 5-2).



Figur 5-1. Utrustning för akustisk emissionsmätning vid WES.



Figur 5-2. Resultatet från en enskild AE-mätning - i detta fallet har mätningen 10 sekunders varaktighet. Vid varje mättillfälle beräknar instrumentet det antal händelser som överstiger ett visst tröskelvärde. Tröskelvärdet är i sin tur en funktion av brusnivån. Det totala antalet händelser presenteras slutligen i form av AE-aktivitet för mätpunkten.

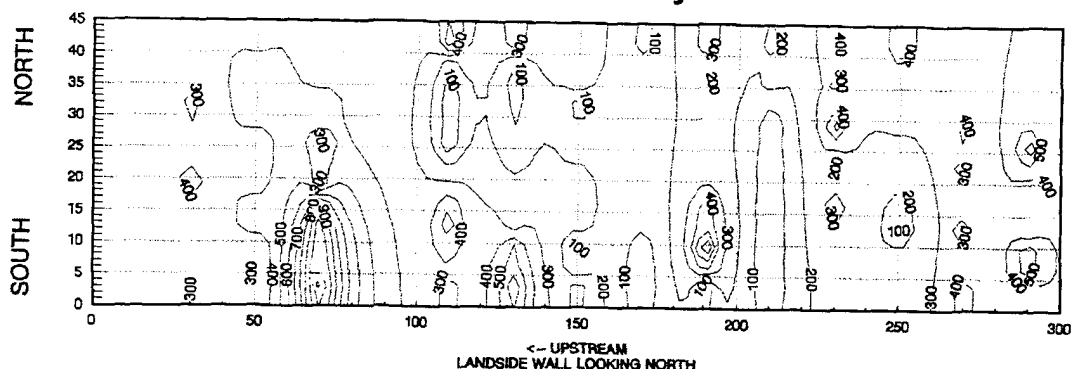
FALLSTUDIE: Läckagevägar under slusskonstruktion, Seneca Falls, New York.

Anläggningen vid Seneca Falls konstruerades 1915 och har haft återkommande problem med läckage och hålrumsbildningar i underliggande geologiska material. Skadorna har åtgärdats med avskärande väggar och injektering med cementbaserade bruk; problemet aktualiserades dock på nytt då ett parti av en bottenplatta på uppströmssidan sjönk ner i ett underliggande hålrumsparti. Följden blev ett hydrauliskt genombrott där vatten med hög hastighet kunde passera ner till berggrunden. Sonderingsborrningar genom bottenplattan visade på förekomst av hålrum med djup i storleksordningen 15 cm och upp till närmare 5 meter. Flödeskanalernas utbredning på uppströms- och nerströmssidan behövde karteras innan reparationsåtgärder kunde vidtas. WES valde att utföra ett test baserat på mätningar med akustisk emission.

Vid tillfället fylldes bassängen med vatten till ringa djup och en operatör vadade med utrustningen utmed parallella tvärgående mätlinjer. Vid varje enskild mätning pressade operatören mätsonden mot betongens yta och AE-aktiviteten registrerades under 10 sekunder. Repeterbarheten kontrollerades genom att tio separata mätningar gjordes för varje mätpunkt.

Exempel på resultat från mätningarna redovisas i Figur 5-3. Likformigheten för de tio upprepade mätningarna vid varje mätpunkt var genomgående mycket hög. WES har gjort tolkningen att områden med hög AE-aktivitet ligger direkt över flödesvägar med turbulent vattenflöde. En något lägre AE-aktivitet antas bero på djupare liggande flödesvägar eller ett flöde som avger små ljudnivåer. I områden där det finns liten eller ingen AE-aktivitet ligger betongplattan antingen i direktkontakt med intakt berg eller sker en dämpning av signalen i

Cayuga-Seneca Lock 3 Acoustic Emission Activity Contours



Figur 5-3. Kartläggning av strömningsvägar under en bottenplatta av betong genom mätningar av akustisk emission (konturering av AE-aktivitet motsvarande en mätning per 1.5 m (5 fot) och parallella mätlinjer på 6 m avstånd). Vid position 70 fot (21 m) finns ett brott i bottenplattan. Alla avstånd i figuren anges i fot.

REFERENSER

REMR-bulletinen:

- a. Geophysical methods applied to detect and map seepage paths at Clearwater dam, 1985, 2/2.
- b. Acoustic emissions survey to map seepage patterns under a navigation lock, 1991, 8/4. 3p.

Tekniska rapporter:

- c. Development of self-potential interpretation techniques for seepage detection, REMR-GT-6 (Report 3).
- d. Proceedings of REMR workshop on new remedial seepage control methods for embankment dams and soil foundations, unnumbered.

- ☐ Oförstörande provning.
- ☐ Bedömning av betongkvalitet.
- ☐ Referenser till fallstudier.

Metoder för oförstörande provning av betong: Ultrasonic Pulse-Echo

SYFTE

Ge information om ultrasonic pulse-echo metoden (puls-ekometoden/UPE). UPE är en oförstörande (ofp) mätmetod som kan användas för att bestämma betongkvaliteten för en betongkonstruktions inre eller yttre delar (yttskikt) och för att detektera skador.

BAKGRUND

Ett omfattande provtagningsprogram för att ta fram de parametrar som krävs för att bestämma en betongkonstruktions underhållsbehov, säkerhetsstatus, skadeomfattning etc. är i regel kostsamt. Genom att kombinera "förstörande" provtagning med effektiva oförstörande mätmetoder så kan ett förbättrat beslutsunderlag tas fram som kan användas för att fatta beslut om eventuella åtgärder. Ekonomiska resurser kan sparas samtidigt som kvaliteten på arbetet kan höjas.

WESs kravspecifikation på en effektiv ofp-metod för betongundersökningar är att den skall möjliggöra att:

- a. Detektera förekomst av och bestämma djup till armering.
- b. Detektera förekomst av sprickor.
- c. Möjliggöra bestämning av inre betongkvalitet.
- d. Lokalisera inre eller bakomliggande hålrum i en betongkonstruktion.

I början av 1980-talet saknades kommersiellt tillgängliga ofp-metoder som mötte dessa önskemål. Ett utvecklingsarbete initierades därför av puls-ekometoden, som man bedömde som vara lovande (arbetet resulterade dock inte i någon kommersiellt tillgänglig utrustning).

UPE är en av ett flertal olika akustiska mätmetoder. Den fysikaliska principen är i grunden lika för metoderna. Skillnaderna dem emellan beror på metodutförande och vilken typ av mätutrustning som används. Som metodens namn antyder baserar sig UPE på reflekterade ultraljudsvågor. Metoden har använts under lång tid för materialprovning inom andra områden än betong, och för undervattenskartering (sonar). WES har genom hård- och mjukvaruutveckling anpassat metoden till provning av betong.

FÖRDELAR

Metoden är ett bra exempel på en oförstörande provningsmetod som kan användas för att utvärdera komplicerade heterogena material såsom betong. Den är speciellt användbar för mätningar betongväggar och betongplattor med ringa mäktighet och den kan användas både över och under vatten. Vidare möjliggör metoden undersökningar över stora ytor samtidigt som antalet uttagna borrhälsar kan begränsas (underlaget från puls-ekomätningar kan vägleda placeringen av de borrhälsar som skall göras). Speciellt kan återkommande mätningar på en anläggning avslöja om det har skett några förändringar i betongens egenskaper.

BEGRÄNSNINGAR

Metoden kan endast användas för betongkonstruktioner av begränsad tjocklek (upp till någon enstaka meter) och direktkontakt krävs med ytan på den konstruktion som skall undersökas. Ytterligare begränsningar är att det saknas kommersiellt tillgänglig utrustning anpassad för betongundersökningar. Vidare saknas det gedigna erfarenheter av fältmässig användning.

UTRUSTNING

En puls-ekomätning erfordrar en eller två sökare som sänder respektive tar emot ljudvågorna, en enhet som exciterar sändaren samt ett oscilloskop eller en A/D-omvandlare ihop med en dator. Databehandling kan förbättra förutsättningarna till att göra en god tolkning av uppmätta signaler.

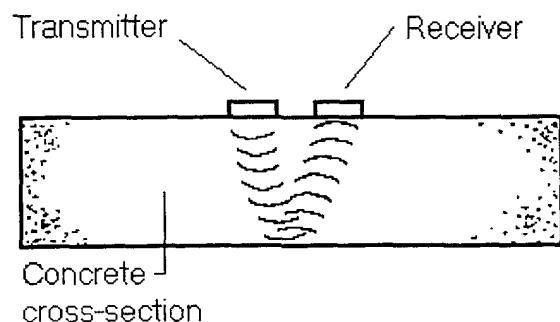
Typ av sökare har avgörande betydelse för mätningens kvalitet. Vanligtvis används piezoelektriska sökare för att såväl generera som ta emot signaler (en hammare kan inte på motsvarande sätt åstadkomma en reproducerbar signal). Det är dock svårt att konstruera sökare för de frekvenser som behövs vid betongkontroll, d.v.s. med sådana egenskaper att korta och fokuserade ljudpulser kan sändas och samtidigt hålla ner deras storlek så att inte kopplingen mot betongen blir problematisk. För mätningar i betong bör sökare med resonansfrekvenser under ca 75 kHz användas om några meters penetration önskas. Sökare med högre frekvens än cirka 75 kHz blir mer lätthanterliga och kan användas på betongtjocklekar upp till cirka en meter.

Ett mätsystem som skall kunna undersöka betongtjocklekar upp till 10 gånger större än vad som är möjligt idag pågår för närvarande (referens c).

METODBESKRIVNING

Vid en puls-ekomätning appliceras en eller två sökare i direkt kontakt med betongens yta eller genom att vatten som omger konstruktionen får tjäna som kopplingsmedium (Figur 6-1). Kvaliteten på mätningen är direkt kopplad till att en akustisk god koppling kan åstadkommas mellan betong och sökare.

En stötvåg introduceras i betongen från dess yta och tas emot i samma yta. I den uppmätta responssignalen identifieras ekon och deras ankomsttid registreras. Den energimängd som reflekteras tillbaka vid en diskontinuitet (reflektor) är beroende av respektive sidas relativa akustiska densitet. Med kunskap om utbredningshastigheten kan reflektorns djupläge beräknas. I uppmätta ultraljudssignaler kan också spridda ekon från materialet finnas. Detta materialbrus är informationsbärande när det gäller materialets nedbrytningsgrad, men bidrar samtidigt till att försvåra identifieringen av ekon i signalen.



Figur 6-1. Princip för puls-ekomätning. Signalen alstras av en sändare som ligger an mot betongytan. Efter det att ett eko studsat mot betongen bakre yta registreras ankomsttiden av en mottagare.

UTVÄRDERING

Ultraljudshastigheten (UPV) för betong utgör ett bra mått på betongens kvalitet. För en känd tjocklek (l) beräknas ultraljudshastigheten (v) enligt:

$$v = \frac{2 \cdot l}{t} \quad [\text{m/s}],$$

där t är tiden för ekots ankomst.

Eftersom en och samma betongblandning i regel har använts vid gjuttillfället så är hastighetsvariationer inom en specifik betongkonstruktion i regel liten. Detta innebär att eventuella avvikelser från "normalhastigheten" kan hänföras till orsaker som förekomst av sprickor och annan nedbrytning (Tabell 6-1). I konstruktioner av begränsad tjocklek (upp till någon enstaka meter) kan metoden användas till att hitta små och stora defekter. Eftersom energiförlusterna i betong (spridnings- och absorptionsförluster) är stora dämpas mätsignalen alltmer då tjockleken ökar.

Tabell 6-1. Ultraljudshastighetens korelation mot betongkvalitet bestämd från mätningar med direkt transmission genom en konstruktionen.

Hastighet (m/s)	Betongkvalitet
> 4600	Utmärkt
3700 - 4600	Generellt god
3000 - 3700	Kan ifrågasättas
2100 - 3000	Generellt dålig
< 2100	Mycket dålig

I referens b redovisas ultraljudshastigheter från mätningar före och efter reparation av betongsprickor (epoxiinjektering) vilka påvisar en markant hastighetsökning efter injekteringen. Metoden gav även bra resultat i det undersökningsprogram som genomfördes för att komma till rätta med läckage på Richard B. Russel Dam (se Informationsblad 15).

REFERENSER

REMR-bulletinen:

- Nondestructive testing of concrete with ultrasonic pulse-echo, 1990, 7/4, 3p.
- In situ repair of deteriorated concrete, 1989, 6/2, 5p.
- Positive note sets tone for REMR-II research program review, 1996, 13/3, 2p.

Tekniska informationsblad:

- System for rapid assessment of quality of concrete in existing structures, CS-ES-1.1, 2p.
- Nondestructive testing of concrete with ultrasonic pulse-echo, CS-ES-1.10, 1991, 4 p.

Tekniska rapporter:

- Development of nondestructive testing systems for in situ evaluation of concrete structures, REMR-CS-10, 1987, 111 p
- In situ repair of deteriorated concrete in hydraulic structures: laboratory study. REMR-CS-11, 1988, 31p
- In situ repair of deteriorated concrete in hydraulic structures: a field study, REMR-CS-21, 1989, 45p.

Övrigt:

Se även Informationsblad 4 och 5.

- ☐ Översyn och övervakning.
- ☐ Instrumentering för rörelsemätningar.

Tillståndskontroll av betongkonstruktioner: rörelsemätning

SYFTE

Ge en översiktlig beskrivning av automatiserade mätsystem för övervakning av en dammkonstruktions relativa rörelser. Beroende på systemens uppbyggnad registreras en mätpunkts positionsförändringar i två eller tre dimensioner:

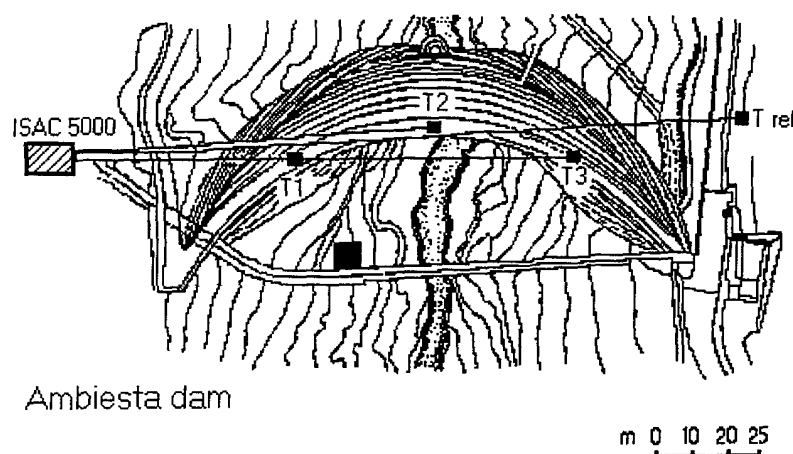
- ☐ Horisontella rörelser (lodlinjer, kollimormätningar).
- ☐ Tredimensionella rörelser.

BAKGRUND

Vid en genomgång av rapporterade skador från US Army Corps of Engineers vattenkraftsanläggningar visade sig konstruktionsrörelser och deformationer stå för 7 % av det totala antalet skador. I majoriteten av fallen (97%) gav dessa upphov till ringa eller måttliga skador på konstruktionerna (se även informationsblad 16).

Horisontella rörelser

Kollimatorsystem är relativt vanligt förekommande i större dammkonstruktioner för att bestämma storlek på horisontella förskjutningar (Figur 7-1). Eftersom varje mätning kan vara kostsam att utföra finns det risk för att det går lång tid mellan enskilda mättillfällen. Mätningarna kan dock automatiseras vilket gör det möjligt att bygga upp fortlöpande mätserier över en dammkonstruktions rörelser. Enligt referens d finns det idag system som på 100 meters avstånd klarar att mäta förskjutningar på 0.2 mm.



Figur 7-1. Exempel på placering av mätpunkter i ett automatiserat kollimatorsystem (ISAC 5000). I det här fallet kontrolleras tre mätpunkter utmed dammkrönet mot en referenspunkt.

Ett annat vanlig förfaringssätt för att mäta horisontella förskjutningar baseras på installation av lodlinor i vertikala schakt i dammen. Med en mikrometer uppmäts regelbundet lodlinjens läge i förhållande till en fast punkt. Inom REMR-programmet har mätförfarandet automatiserats (se vidare under avsnitt 1).

Tredimensionella rörelser

Inom REMR-programmet har även ett satellitbaserat mätsystem utvecklats – det s.k. CDM-systemet (continuous deformation monitoring system). Systemet beskrivs under avsnitt 2.

1. AUTOMATISERAT SYSTEM FÖR LODLINJEMÄTNINGAR

Princip

Systemet baseras på mätning av en intermitterent ljusstråle för att avgöra lodlinjens läge. Varje mätenhet har två sensorer för bestämning av både x- och y-koordinat för lodlinjen. En ljuskälla (LED) placeras på ena sidan av lodlinjen och en kamera (line-image camera) placeras på motsatt sida. När lodlinjen belyses registreras den av kameran. Med hjälp av bildbehandling kan därefter en lägesbestämning göras.

Fördelar

- ☐ Mätningarna kan fjärrstyras.
- ☐ Avläsningsfel på mikrometern elimineras.
- ☐ Snabb processering av mätvärden.
- ☐ Hög mätnoggrannhet.

Begränsningar

- ☐ Eftersom en lodlinjeinstallation är ett precisionsinstrument så kan nedfallande rasmaterial i schaktet orsaka skador.

2. AUTOMATISERAT SYSTEM FÖR MÄTNING AV 3D-DEFORMATIONER

GPS

GPS (global positioning system) är ett satellitbaserat navigationssystem som upprättades av USA under 1980-talet. GPS anger koordinater i ett globalt, tredimensionellt koordinatsystem kallat WGS-84. Detta system använder sig av en ellipsoid så formad att den skall efterlikna jordens yta så noggrant det går med origo i jordens medelpunkt. Koordinater i WGS-84 kan därefter transformeras till lokala eller regionala koordinatsystem¹.

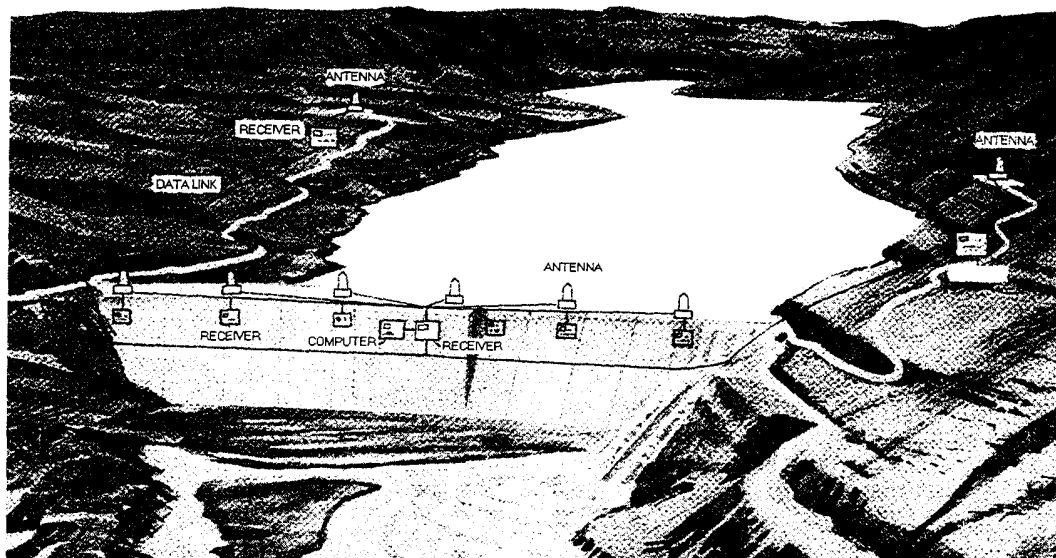
Differentiell GPS

Information från markbaserade referensstationer kan användas för att öka noggrannheten i en uppmätt GPS-positionering s.k. differentiell GPS. Korrektioner kan göras på två sätt; i båda fallen krävs att referensstationen håller reda på var samtliga satelliter inom "synhåll" befinner sig och beräkna den korrektion som skall användas på data från respektive satellit. Den framtagna informationen kan därefter 1) sändas vidare till mätplatsen i realtid där den mottagarenhet som finns i fält beräkna en korrigerad koordinat, eller 2) spara informationen i en datafil för korrigering av fältdata vid ett senare tillfälle. I båda fallen erhålls en väsentlig förbättring i koordinatbestämningen.

¹ I Sverige används ett lokalt tvådimensionellt system, RT90, som bygger på Bessels referensellipsoid från 1841 i plan, medan höjder anges i ett särskilt höjdsystem, RH70. Koordinater på allmänna kartor i Sverige är sedan 1988 angivna i RT90. De flesta svenska kartor är gjorda i Gauss konforma projektion, vilken är gynnsam för långsmala, nord-sydligt orienterade områden. För att förbättra noggrannheten är Sverige indelat i sex olika projektiionsområden med varsin medelmeridian. Vid landsomfattande mätning och kartframställning används 2.5 gon V.

REMRs CDM-System

Detta övervakningssystem inkluderar mellan tre och tio GPS-antennor (en antenn per mät-punkt). Minst två av antennerna placeras vid referenspunkter som inte antas röra sig relativt mätobjektet (Figur 7-2). Mätvärden från de övriga mätpunkterna jämförs därefter mot referenspunkterna. Systemet kan göra mätningar i intervall om ca 1 timma (intervallet beror på lokalens satellittäckning). Mätvärdena lagras över på datorer och efter databearbetning erhålls ett värde (x,y,z) på mätpunkternas läge gentemot referenspunkten. Mätprecisionen ligger i millimeterområdet.



Figur 7-2. Principskiss för deformationsövervakning med hjälp av det GPS-baserade CDM-systemet.

Användningsområden

Möjliga användningsområden för CDM-systemet är:

- ☐ Jord och betongkonstruktioner (systemet testades på Dworshakdammen under 1989).
- ☐ Konstruktioner som befinner sig nära ett brottillstånd.
- ☐ Släntstabilitet.
- ☐ Under vattenfyllnadsfasen för nybyggda hydrauliska konstruktioner.
- ☐ Gamla konstruktioner.

Begränsningar

- ☐ En god satellittäckning är nödvändig.

LITEN ORDLISTA

CDMS: Continuous Deformation Monitoring System.

GPS: Global Positioning System.

Kollimator: Ett instrument som skickar en ljusstråle med sådan egenskap att enskilda ljuspartiklarnas bana är parallella med varandra. Ett automatiserat kollimatorinstrument kan användas för att skicka en ljusstråle mot en spegel som installerats på ett undersökningsobjekt. Ljusstrålen reflekteras tillbaka mot instrumentet där vinkelskillnaden mäts upp.

REFERENSER

REMR-bulletinen:

- a. Continuous deformation surveillance of large structures possible with new monitoring system, 1990, 7/1, 2 p.

Tekniska informationsblad:

- b. Continuous monitoring of small structural deformations, CS-ES-2.7, 2p.
- c. Automated system for monitoring plumblines in dams, CS-ES-2.1, 1985, 4p.

Övrigt:

- d. Anesa, F., Azzoni, A., Vergani, M. and Mazzà G. (1995). Automatic system for monitoring dam displacements, *Hydropower & Dams*, March 1995, p. 71-74.

- ☐ Inspektion
- ☐ Bedömning av kondition och livslängd
- ☐ Översyn och övervakning.

Tillståndskontroll av betongkonstruktioner under vatten

SYFTE

Informera om hur Corps of Engineers och andra intressenter i USA behandlar tillståndskontroll av betongkonstruktioner som befinner sig under vatten.

BAKGRUND

Ett allmänt dåligt eller eftersatt underhåll visar sig speciellt i form av skador på de delar av en betongkonstruktion som befinner sig under vatten. Eftersom det är komplicerat att utföra inspektioner under vatten så är det besvärligt att ta fram bra underlag för åtgärdsplanering. Till viss del beror svårigheterna på att det sällan finns sakkunnig personal tillgänglig som både kan utföra ett professionellt undervattensarbete och samtidigt är expert på skadebedömning.

Undervattensinspektioner bör göras under alla skeden av en konstruktions livslängd. De utgör ett verktyg för kvalitetskontroll under själva byggtiden och i anslutning till färdigställandet. Med tiden blir det allt svårare (och mer kostsamt) att upptäcka eventuella skador. Tidiga och väldokumenterade inspektioner utgör då ett bra basmaterial som senare inspektioner kan jämföras mot. I USA görs återkommande undervattensinspektioner med 1 till 5 års intervall.

EN INSPEKTIONS OMFATTNING

WES delar in undervattensinspektioner i tre nivåer beroende på dess omfattning i form av vilka resurser och förarbeten som krävs, och vilken typ av skada och/eller felaktighet som kan upptäckas (se även Tabell 8-1):

- Nivå I. Allmän visuell inspektion. Kan utföras på kort tid eftersom ingen rengöring av betongytor görs. Syftet är att bekräfta att konstruktionen som den ser ut under vatten överensstämmer med konstruktionsritningarna, och att hitta tydliga och påtagliga skador.
- Nivå II. Detaljerad visuell inspektion. I allmänhet krävs att de betongytor som skall undersökas rengörs. Syftet är att upptäcka ytliga skador i betongen som annars kan vara dolda av växtlighet eller sediment. Genomförs i regel endast av en konstruktions kritiska delar.
- Nivå III. Oförstörande provning. Genomförs i syfte att upptäcka dolda och/eller begynnande skador i betongen.

Tiden det tar att genomföra inspektionerna beror på faktorer som sikt, förekomst av strömt vatten och vågor, vattendjup, omfattning av vattenväxtlighet, och erfarenhet och skicklighet hos deltagande personal. Det kan vara besvärligt att knyta geometrisk information till gjorda observationer. Rutiner för detta måste ordnas (t.ex. genom att använda DGPS – se Informationsblad 5).

Tabell 8-1. Inspektionsklasser och motsvarande påvisbara skadetyper.

NIVÅ	SYFTE	PÅVISBARA SKADOR
I	Att bekräfta överensstämmelse med konstruktionsritningar.	Tydliga och påtagliga skador: frostsador, erosionsskador (kavitation och nötning).
II	Att upptäcka ytliga skador i betong som annars kan vara dolda av växtlighet, sediment, etc..	– Ytliga sprickor. – Nedbrytning av betong. – Omfattande korrosionsskador på armering. – Spjälkningsskador i betongens ytskikt.
II	Att upptäcka dolda eller begynnande skador i betongen.	– Lokalisering av armering. – Begynnande korrosion av armering. – Inre hålrum. – Hållfasthetsförändringar.

UNDERSÖKNING MED ELLER UTAN DYKARE

En undervattensinspektion kan genomföras med hjälp av ett dykteam eller en fjärrmanövrerad undervattensfarkost (UV-farkost). I USA används både fridykande dykare (egna lufttuber) och dykare med luftförsörjning från vattenytan. UV-farkosterna kan vara mer eller mindre avancerade. Det kan t. ex. vara möjligt att haka på utrustning för rengöring av betongytor eller för oförstörande provning. För- och nackdelar med att använda dykare respektive UV-farkoster vid undervattensinspektioner framgår av Tabell 8-2.

Alla avvikelser i betongkonstruktionens utförande som påträffas skall framgå av dokumentation från inspektionen. Det kan gälla:

- ☐ Geometrisk förändringar (tvärsnitt, längd, etc.).
- ☐ Materialförändringar (t.ex. variationer i betongens ytstruktur).
- ☐ Skavanker i konstruktionen.

Tabell 8-2. Fördelar och nackdelar med att använda yrkesdykare respektive undervattensfarkost vid inspektion av betongkonstruktioner under vatten.

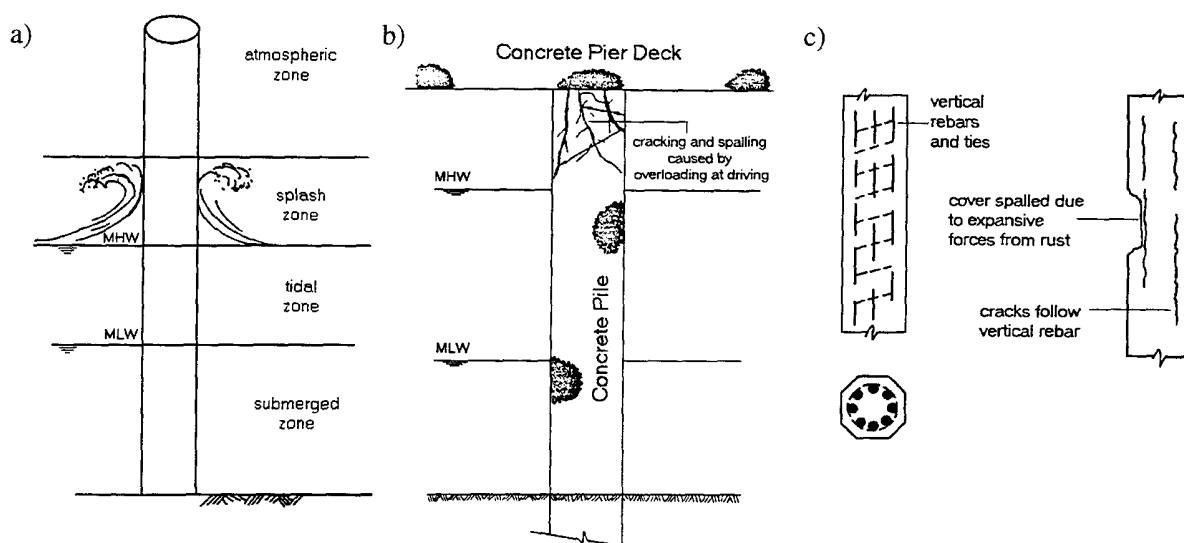
YRKESDYKARE		UNDERVATTENSFARKOST	
Fördelar	Nackdelar	Fördelar	Nackdelar
I de flesta fall relativt billiga.	Begränsningar finns vad gäller djupt vatten.	Inga begränsningar i vattendjup.	Dyra (i regel).
Flexibla.	Begränsningar finns för dyktid/dykdjup.	Kan köras oavbrutet under lång tid.	Dålig flexibilitet.
Mångsidiga.	Begränsningar finns för antalet möjliga dyk/dag (gäller även för ringa vattendjup).	Kan utföra upprepade undersökningar utan avtrubning.	Mindre pålitliga.
I de flesta fall enkelt att genomföra. Kräver endast små underhållsresurser.	Låga temperaturer minskar dykarens koncentrationsförmåga.	Kan användas i strömt vatten och/eller vid stora vågor.	Kräver relativt stora underhållsresurser.
	Visuella, hörsel- och rumsliga intryck är annorlunda under vatten. Risk finns för felbedömningar.		Om videokamera används och referens saknas kan vinklar dimensioner och skadeomfattning felbedömas.

NEDBRYTNING AV BETONGKONSTRUKTIONER UNDER VATTEN

Betongen i en vattenbyggnadskonstruktion utsätts för ett stort antal påfrestningar:

- Frostangrepp (i ytan, i det inre).
- Armeringskorrosion (karbonatisering, korrosiva salter, i anslutning till sprickor).
- Kemiskt angrepp (urlakning, sulfatangrepp, reaktiv sprängande ballast, sura angrepp).
- Erosionsangrepp (vattentransporterade fasta partiklar, kavitation, isdrift).

Flera skadetyper kan förekomma samtidigt, men en specifik skada dominerar vanligtvis. I de flesta fall initieras nedbrytning i betong av olika typer av felaktigheter, t.ex. dålig design, felaktig sammansättning på betongen, dåligt utförande och/eller felaktig kvalitetskontroll. Exempel på skador visas i Figur 8-1.



Figur 8-1. Exponeringszoner (a), exempel på en mekanisk skada (b), exempel på skada orsakad av korrosion av armering (c).

HJÄLPMEDEL

I referens h redogörs i detalj för faktorer som man bör ta hänsyn vid under inspektionsarbetet. Ett antal olika typer av användbara sensorer redovisas i Tabell 8-3.

Tabell 8-3. Användbara sensorer/sonder för undervattensinspektion av betongkonstruktioner.

Användbara sensorer	Generell strukturell integritet	Deformationer	Fogföreningar	Fogsprickor	Korrosionsstatus	Omfattning av korrosionsskador	Skräp/bråte	Erosion	Karaktär på och läge för rasmaterial	Vibrations-signatur	Vridning
Öga	x	x	x	x	x	x	x	x	x		x
Videokamera	x	x	x	x	x	x	x	x	x		
Filmkamera	x	x	x	x	x	x	x	x	x		
Optisk skanner	x	x	x		x		x	x	x		
Akustisk skanner	x	x						x	x		
Radiografering				x							
Accelerometer										x	
Ultrasonic		x	x								
Rörelse- och nivågivare											x

REFERENSERREMR-bulletinen:

- a. Underwater inspection of coastal structures, 1997, 14/2, 6 p.

Tekniska informationsblad:

- b. Video systems for underwater inspection of structures, CS-ES-2.6, 1988, 7p.
- c. High-resolution sonar systems for bathymetric applications, CO-SE-1.3, 4p.
- d. Side scan sonar for inspection of coastal structures, CO-SE-1.4, 8p.
- e. Sonic pulse-echo system for determining length and condition of concrete piles in situ, CS-ES-1.2, 1985, 2p.
- f. System for rapid, accurate surveys of submerged horizontal surfaces, CS-ES-3.1, 4p.
- g. Underwater camera for inspection of structures in turbid water, CS-ES-3.2, 1985, 2p.

Tekniska rapporter:

- h. Inspection of the engineering condition of underwater concrete structures, REMR-CS-9, 1989, 65 p.
- i. Underwater inspection of coastal structures using commercially available sonars, REMR-CO-11.

Övrigt:

- j. Fagerlund, G. (1991). Vattenbyggnadsbetong, Cementa, 51 s.

- ☐ Borttagning av betong.
- ☐ Utrustning/maskiner.

Metoder för att avlägsna skadad betong

SYFTE

Att ge en översiktlig sammanfattning av de i REMR-programmet presenterade metoderna för att avlägsna skadade betongpartier från en betongkonstruktion.

BAKGRUND

Att avlägsna skadad betong är förknippat med höga kostnader. Det finns ett flertal metoder finns att tillgå och valet styrs i regel av faktorer som lokala förhållanden, tidsaspekter, arbetets omfattning och betongens kvalitet. Ofta är flera metoder lika bra och på det sättet blir kostnadsaspekten av avgörande betydelse.

ALLMÄNNA ÖVERVÄGANDEN

För kunna att säkerställa god samverkan mellan gammal och ny betong är det viktigt att avlägsna huvuddelen av den betong som skadats. I regel avlägsnas betongen ned till ett visst djup, något som dock ofta är förknippat med låg produktivitet eftersom även frisk betong omfattas. Riktlinjer för hur mycket betong som behöver avlägsnas i det enskilda fallet diskuteras i referens o.

För flertalet av metoderna så varierar kapaciteten i hög grad med betongens kvalitet. Inför metodvalet bör därför en god beskrivning upprättas av typ och gradering av skador, genomsnittlig och maximal storlek på ballast, armeringsmängd och betongens hållfasthet. WES riktlinjer för tillståndskontroll av befintliga betongkonstruktioner utgör ett bra hjälpmedel (Informationsblad 2). För att kunna utvärdera risken för utsläpp av restprodukter till angränsande vattendrag genomförs en miljökonsekvensbeskrivning innan ingreppen påbörjas.

Innan arbetet avslutas skall den frilagda betongytan undersökas i en visuell inspektion i syfte att hitta eventuella kvarvarande svagheter. Hålrum efter utfallande ballast är ett tecken på kvarvarande svagheter medan ballast som är genomskuren indikerar frisk betong. Eventuella bakomliggande delamineringar kan upptäckas med hjälp av bomknackning med en stålhammare.

METODER FÖR ATT AVLÄGSNA SKADAD BETONG

Beroende på vilken teknik som används så har WES har grupperat metoderna för att avlägsna betong i sex grupper, se Tabell 9-1. Tabellen följs av en redovisning av urvalskriterier för respektive grupp, och de hänsynstagande som krävs i övrigt.

Tabell 9-1. Tekniker för att avlägsna skadad betong baserad på indelning enligt WES.

Teknikkategori	Beskrivning	Metod
Sprängning	Bygger på snabb gasexpansion i ett system med borrhål. Expansionen ger upphov till kontrollerad spräckning av betongen.	Användning av sprängämne.
Krossning	Betongen krossas och avlägsnas med hjälp av hydrauliska käftar/klor.	Mekanisk krossning: kranmonterad eller portabel utrustning.
Skärning	Betongen skärs upp och avlägsnas i block.	Vattenjetskärning, skärning med diamantblad eller diamantwire, stickskärning, termisk skärning.
Bilning	Upprepad slagstötning mot betongkonstruktionens yta med en slagmassa. Orsakar ytsplittring och spräckning.	Mekanisk impaktering: kranmonterad eller handhållen impakteringsutrustning; fjädrande verkan.
Ytfräsning	Nötning.	Vridborsfräsmaskin, vattenbilning.
Spräckning	Bearbetning som i allmänhet bygger på kilkraftsverkan i ett system av borrhål. Expansionen skapar en kontrollerad spräckning av betongen.	Kemiska expansionsmedel, pistongdomkraft (piston-jack splitter), pluggningskil (plug and feather).

Sprängning

Tekniken fungerar bra vid arbeten på massiva betongkonstruktioner och är speciellt bra vid borttagning av stora betongmängder (ned till 250 mm djup eller mer). Det borttagna materialet är ganska lätthanterligt. För utformning av sprängplaner och utförande av sprängningar krävs tillgång till välutbildad personal. Vidare krävs teknik för sekventiell sprängning för att minimera energitoppar och därmed begränsa skadeverkningar på angränsande konstruktioner. Påverkan på den kvarvarande friska betongen skall vara så liten som möjligt.

Krossning

Kranmonterad utrustning kan användas för borttagning av betong från betongdäck och liknande där konstruktionsdelens skärplansdjup (shear plane) är 1.8 m eller mindre (armeringsjärn kan klippas). Tekniken är dock mer passande för arbeten som innebär total demolering. Vibrations- och ljudstörningarna kan begränsas och borttaget material är ganska lätt att hantera. Produktiviteten varierar beroende på betongens kondition och på mängden armering.

Bärbar utrustning kan användas för borttagning av betong från betongdäck och liknande där konstruktionsdelens skärplansdjup är 1.8 meter eller mindre. Utrustningen kan användas i små arbetsutrymmen vibrations- och ljudstörningar kan begränsas. Det krävs två personer för att sköta utrustningen (vikt ca 54 kg) och produktiviteten är relativt låg. Det borttagna materialet är ganska lätthanterligt.

Skärning/sågning

Vattenskärning kan användas för att göra urtag i skivor, väggar och liknande där endast en sida är tillgänglig och skärdjupet är högst 500 mm. Tekniken klarar av betong med hård ballast liksom att skära av armeringsjärn. Vibrations-, damm-, eller värmestörningar är obefintliga men metoden är relativt långsam och därmed kostsam jämfört med diamantsågning. Det utskurna materialet är lätt att hantera. Extra säkerhetsåtgärder krävs till följd av de vattentryck som används (200-300 MPa).

Sågning med diamantblad. Användningsområde som ovan, men klarar ett något större skärdjup (600 mm). Kan användas för precisionsskärning.

Sågning med diamantwire är en kostsam metod som regel bara används för sådana arbeten där sågdjupet är större än vad som är ekonomiskt försvarbart med alternativet med diamantblad. Går att använda i svåråtkomliga utrymmen.

Stickskäring (galleri av borrhål – eg. sömborring). Även detta är en kostsam metod som i regel endast används då sågdjupet är stort. Maximalt borrhålsdjup begränsas av hur noggrann borrhålsutrustningen är, d.v.s. huruvida det går att borra två överlappande borrhål. Diametern på borrhålskronan inverkar på maximalt möjligt borrhålsdjup.

Termisk skärning (flamrensning) kan användas för att göra utskärningar i kraftigt armerade skivor, väggar och liknande men är endast kommersiellt tillgänglig i begränsad omfattning. En förutsättning för att kunna använda tekniken är att smält material kan rinna ut från skärskåran. Metoden är speciellt effektiv då arbeten skall utföras på förspända konstruktioner men man får räkna med att den kvarvarande betongen får värmeskador, speciellt i anslutning till armering. På grund av utveckling av brandfarliga gaser så krävs speciella säkerhetsåtgärder.

Bilning (mekanisk impaktering)

Kranmonterad utrustning är i regel lätt tillgänglig och kan användas för att avlägsna betong vid arbeten av varierande omfattning. Energin från impakteringar måste regleras så att konstruktionen i övrigt inte tar skada. Mikrosprickbildningar bildas dock utmed armeringsjärn i den kvarvarande friska betongen. Det nedbrutet materialet är lätt att hantera men själva bilningsarbetet ger upphov till arbetsmiljöproblem i form av damm.

Manuell utrustning. Lättillgänglig utrustning som kan användas vid mindre omfattande arbeten och vid arbeten i svåråtkomliga utrymmen. Samma nackdelar finns som för den kranmonterade utrustningen. Operatören utsätts dessutom för vibrationer och buller.

Hammare med fjäderverkan kan användas för att bryta sönder tunna konstruktioner (skivor, väggar, etc.). Metoden är dock mer passande för arbeten som innebär en total demolering. Energinivån måste regleras så att konstruktionen i övrigt inte tar skada.

Ytfräsning

Vattenbilningsteknik. är en kostsam metod som kan användas både över och under vatten för att avlägsna nedbruten betong från ytor på skivor och väggar till ett djup om 150 mm eller mindre. Under arbetets gång krävs tillgång till stora mängder vatten av "dricksvattenkvalitet" krävs (i vissa fall mer än 4000 l/h). Kvarvarande betong liksom frigjord armering skadas ej (armeringen kan återanvändas vid reparationen) och fräsdjupet utmed arbetsytan kan varieras beroende på skadans omfattning. Det borttagna materialet är lätt att hantera. Extra säkerhetsåtgärder krävs till följd av de vattentryck som används (100-300 MPa). Robotbaserad utrustning finns på marknaden.

Vridborrfräsmaskin. En utrustning som fungerar bra vid arbeten på massiva betongkonstruktioner och är speciellt lämplig för att avlägsna nedbruten betong i täcksikt (d.v.s. vid frånvaro av armering). Mikrosprickor bildas i regel i den kvarvarande betongen. Ger upphov till vibrationer, buller och damm samt ett lätthanterligt nedbrutet material.

Spräckning

Kemiska expansionsmedel kan användas för att skapa vertikala sprickplan som sträcker sig ner till betydande djup. Tekniken kräver borrhålsborring av vertikala borrhål som är minst 10 gånger djupare borrhålets diameter (vissa typer expansionsmedel går även att använda i horisontella borrhål). Temperaturområdet inom vilket medlen är verksamma är begränsat och vid en alltför gles placering av borrhål blir kontrollen över förloppet dålig. Den spräckta betongen avlägsnas med en vridborrfräsmaskin eller med bilning. Förutom under själva borrhålsarbetet uppstår inga vibrations- eller bullerstörningar. Detta är i regel en kostsam metod som kräver speciella säkerhetsåtgärder på grund av risk för blow-out vid hydratisering.

Mekanisk försplitrning: Pistongdomkraft fungerar bra vid arbeten på massiva betongkonstruktioner där ett betongskikt om 250 mm eller mer skall avlägsnas. Upprepad verkan erhålls genom att återinsätta utrustningen i borrhålet för att successivt arbeta sig djupare in i konstruktionen. Vid gles placering av borrhålen blir kontrollen över förloppet dålig. Kostnadsbildens styrs i hög grad av krav på stor borrhålsdiameter (90 mm). Kan användas vid arbeten i svåråtkomliga utrymmen. Vibrations- eller bullerstörningar uppkommer under borrhålsarbetet.

Mekanisk försplitrning: Kil. Detta är en bearbetningsmetod som lämpar då man vill underlätta slutlig borttagning av skadade betongpartier med annan metod. Tekniken kan användas vid försplitrning i skivor, väggar och liknande där påverkansdjupet är högst 120 cm. Pluggningskilarnas läge styr de skapade sprickornas orientering och vid en alltför gles placering av borrhålen blir kontrollen över förloppet dålig. Kan användas vid arbeten i svåråtkomliga utrymmen. Inga vibrations- eller bullerstörningar förutom under själva borrhålsarbetet.

FALLSTUDIER

Skärning med diamantwire

- Renovering av Marseilles dam, Illinois. Utskärning av betongblock. Referens a.

Vattenbaserad fräsning (vattenjet)

- Renovering av Dashields locks, Ohio river. Borttagning av 1100 m² betong till ett minsta djup om 30 cm (14 dagar). Referens a.

Mekanisk försplitrning (handhållen bergborrmaskin)

- Renovering av Dashields locks, Ohio river. Borttagning av nedbruten betong (50 m² per dag och 2 maskiner). Referens a.

REFERENSER

REMR-bulletinen:

- a. Mining tool adapted to concrete removal for lock wall rehabilitation project, 1985, 2/1.
- b. Diamond wire cutting used on concrete at Marseilles dam, 1989, 6/5, 3p.
- c. Evaluation of water jet blasting for removal of concrete from lock chamber faces, 1989, 6/5, 4p.
- d. Mechanical presplitting technique used in removal of concrete from chamber face at Dashields lock, 1989, 6/5, 3p.

Tekniska informationsblad:

- e. Concrete removal technique: cutter boom, CS-MR-1.1, 2p.
 - f. Concrete removal technique: explosive blasting, CS-MR-1.2, 4p.
 - g. Concrete removal technique: expansive agent, CS-MR-1.3, 4p.
 - h. Concrete removal technique: vehicle-mounted breaker, CS-MR-1.4, 3p.
 - i. Concrete removal technique: hand-held breaker, CS-MR-1.5, 3p.
 - j. Concrete removal technique: diamond blade saw, CS-MR-1.6, 4p.
 - k. Concrete removal technique: stitch drilling, CS-MR-1.7, 4p.
 - l. Concrete removal technique: concrete splitter, CS-MR-1.8, 4p.
 - m. Concrete removal technique: water jet blasting, CS-MR-1.9, 4p.
 - n. Concrete removal technique: shot blasting, CS-MR-1.10, 2p.
 - o. Concrete removal technique: diamond wire cutting, CS-MR-1.11, 3p.
 - p. Removal limits for repair of damaged and deteriorated concrete structures, CS-MR-1.1.
- Concrete removal techniques: selection, CS-MR-1.14, 11p.

- ☐ Sprickor.
- ☐ Avskalning.
- ☐ Skadeorsaker
- ☐ Lagning av ytor.
- ☐ Speciella reparationsmetoder.
- ☐ Referenser till fallstudier.

Reparation av sprickor och avskalningsskador

SYFTE

Ge en översiktlig presentation av vanliga metoder för att reparera sprickor och avskalningsskador i betongkonstruktioner. För detaljerad information hänvisas till publikationerna i referenslistan.

BAKGRUND

Vid en genomgång av rapporterade skador från US Army Corps of Engineers vattenkraftsanläggningar visade sig sprickor och avskalningsskador stå för 38% respektive 19% av det totala antalet skador. Av undersökningen framgår att 4% av sprickorna klassades som allvarliga eller som så pass omfattande att de utgjorde ett hot mot konstruktionens säkerhet. Denna i sig låga andel representerade dock hela 25% av det totala antalet allvarliga skador. Huvuddelen av avskalningsskadorna orsakade ringa eller måttliga skador. Se även Informationsblad 1.

SKADEORSAKER

Sprickor och avskalningsskador i betong kan uppkomma som en följd av många olika orsaker. Det kan röra sig om stora spänningspåkänningar, oönskade kemiska reaktioner, korrosion av armering, vittring, tillfällig överbelastning och/eller oönskade rörelser i konstruktionen. I Corps of Engineers anläggningar har skadorna i många fall uppstått efter långvarig fuktbelastning, ofta under ensidigt vattentryck, i kombination med upprepade nedfrysnings- och upptyningsperioder. Konstruktioner med vertikalt stående ytor och/eller byggda med betong som saknar extra luftinblandning hör till dem som är speciellt utsatta (se även referens *b* och *n*).

Sprickor och avskalning ger ofta ett visuellt intryck av att vara mycket allvarliga. I allmänhet bibehålls dock konstruktionens strukturella integritet så länge nedbrytningen inte är alltför stor. När betongen börjar brytas ner så måste i regel den nedbrutna betongen tas bort och ersättas med ny. Om däremot betongen repareras innan skadeutvecklingen har nått så långt så kan tiden som konstruktionens funktion kan bibehållas förlängas. Ett arbetsschema för hur man bör gå tillväga för att identifiera vad som har gett upphov sprickor i en betongkonstruktion redovisas i referens *b*.

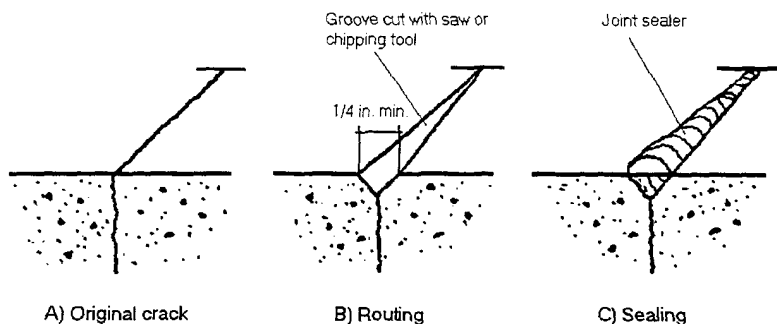
METODER FÖR REPARATION AV SPRICKOR I BETONG

I och med att det finns flera bakomliggande orsaker till att det uppkommer sprickor i betong så går det inte att peka ut en enda reparationsmetod som fungerar lika bra i samtliga fall. För att kunna uppnå ett lyckat resultat så behöver skadans orsak, omfattning och nuvarande beskaffenheter undersökas innan en reparationsmetod kan väljas.

En inventering av vanliga reparationsmetoder har gjorts inom REMR-programmets ram och Tabell 10-1 redovisar översiktlig information för tolv olika reparationsmetoder. WES poängterar att det i vissa fall, speciellt för sprickor orsakade av en alkalireaktiv ballast och för inaktiva sprickor, kan vara bäst att inte sätta in någon åtgärd över huvud taget. En sådan bedömning skall dock alltid göras efter noggrant övervägande. För vissa av reparationsmetoderna visas exempel på utförande i Figur 10-1 till 10-6.

Tabell 10-1. Vanliga metoder för att reparera sprickor i betong.

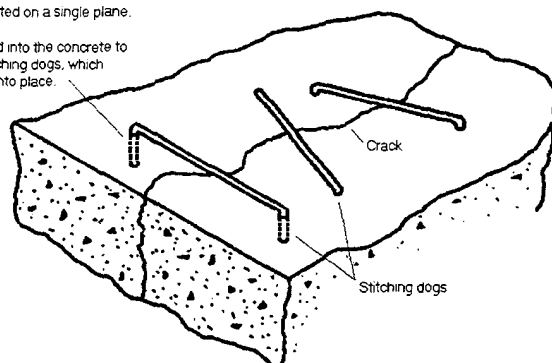
Reparationsmetod	Typ av spricka		Kommentar
	Inaktiv	Aktiv	
Tryckinjektering	X		Metoden är begränsad till områden där spjälkning ännu inte har uppstått. Behovet av ytbehandling är litet; ytan kan efteråt få ett arrat utseende. Lagningsfogen återställer konstruktionens strukturella funktion. Går att använda även då konstruktionen är hydrauliskt trycksatt.
Fräsning och försegling (Figur 1)	X		Används för att reparera sprickor som saknar betydelse för konstruktionens strukturella integritet. Enkel metod som dock inte kan användas då konstruktionen är hydrauliskt trycksatt.
Nåtling (Figur 2)	X	X	Används för att förhindra spricktillväxt. Ingen förslutning eller försegling görs.
Tilläggsarmering (Figur 3)	X	X	Används då en sprickskadad konstruktions strukturella egenskaper skall återställas eller uppgraderas.
Borrning och injektering (Figur 4)	X		Används för att reparera rätlinjiga (någotsånär) sprickor som är åtkomliga från en ände.
Flexibel försegling (Figur 5)	X	X	Användbar metod i de fall lagnings utseende är mindre viktig och den mekaniska påfrestning är ringa.
Injektering	X		För vida sprickor används injekteringsbruk baserat på Portlandcement. För trånga sprickor används kemiskt baserade injekteringsbruk.
Bruk som torrpäckas	X		Används för att reparera hålrum och är speciellt behändigt för reparation av vertikala konstruktionsdelar.
Spricklåsning (Figur 6)	X	X	Används för att förebygga att sprickor i befintlig betong fortplantar sig över till ny betong som gjuts utanpå den gamla.
Impregnering	X	X	Används för att återställa strukturell integritet hos betong som är kraftigt nedbruten eller är av låg kvalitet. Kan även användas för att försegla nätverk av små sprickor.
Överlappning och ytbehandling	X	X	Plattor med inaktiva finmaskiga sprickor kan repareras genom att lägga på ett bindemedelskikt. I det fall sprickorna fortfarande är aktiva så skall det överlagrade skiktet inte innehålla något bindemedel.
Självvtätning	X		En naturlig självläkningsprocess som har praktisk betydelse för inaktiva sprickor i de flesta miljöer.



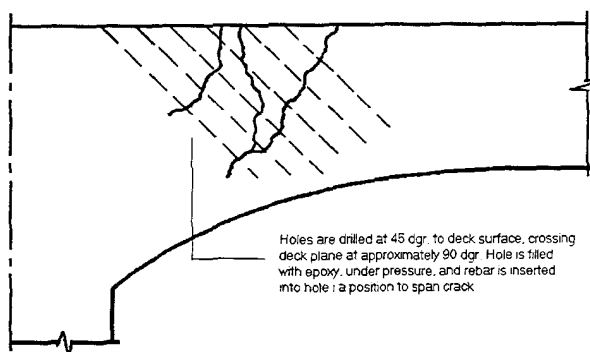
Figur 10-1. Spricka som förseglats i ett spår som frästs ut i betongens ytskikt.

Note variable length, location and orientation of dogs so that tension across crack is distributed in the concrete rather than concentrated on a single plane.

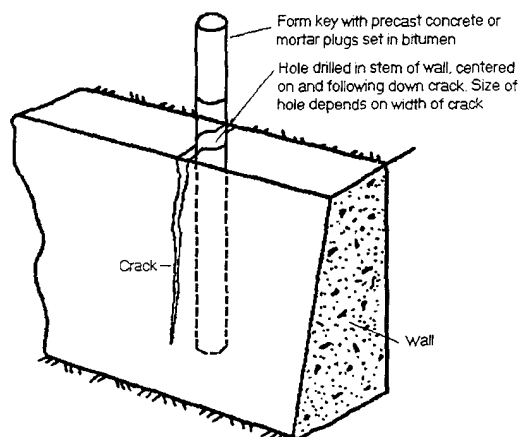
Holes are drilled into the concrete to receive the stitching dogs, which are cemented into place.



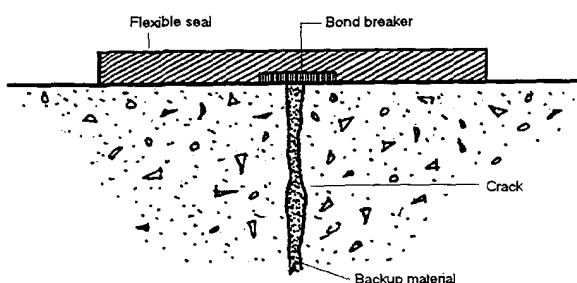
Figur 10-2. Nätling av sprickor används för att förhindra fortsatt spricktillväxt.



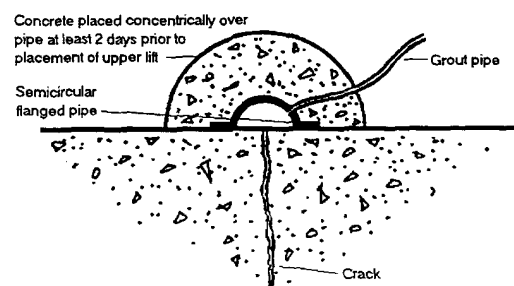
Figur 10-3. Tilläggsarmering.



Figur 10-4. Injektering efter borring.



Figur 10-5. Flexibel förseglning.



Figur 10-6. Spricklåsning.

METODER FÖR REPARATION AV AVSKALNINGSSKADOR I BETONG

Tillvägagångssättet för att reparera ytsplittingsskador beror på faktorer som vilken typ av cement som finns i den skadade konstruktionen, orsak och utbredning av skada, skadans läge, och typ av reparationsmaterial. I Tabell 10-2 redovisas vanligt förekommande metoder för att reparera avskalningsskador. Aktuella reparationsmaterial redovisas i Tabell 10-3.

Tabell 10-2. Översikt av vanliga metoder för att reparera avskalningsskador i betong.

REPARATIONSMETOD	KOMMENTAR
Ytbeläggningar	Används i allmänhet i de fall skadan är begränsad till betongens allra yttersta del (mycket tunt skikt).
Ersättning av befintlig betong	Används i de fall som skadeorsaken eliminerats och/eller inte förväntas upprepas.
Slipning	Används då skadan är begränsad till betongens allra yttersta del (mycket tunt skikt).
Ytbeklädnad	Ett material som är motståndskraftigt i den miljö som orsakat skador på den befintliga betongen fästs mot betongens yta.
Sprutbetong	Används då skadans djup är relativt litet. Speciellt lämpligt vid reparation av stora ytor. Kan användas på både vertikala och horisontella ytor.
Injekteringsbetong (prepackbetong)	Används vid svåråtkomliga reparationer, t.ex. konstruktionsdelar som befinner sig under vatten, eller betong som täcks in med ett ytbeklädnadsmaterial.
Beläggning med bindande/icke-bindande skikt	Används för att reparera solida konstruktioner där ytskiktet skadats av upprepad nedfrysning och upptining, tung trafik, eller annan exponering.

Tabell 10-3. Exempel på material som används för att reparera avskalningsskador i betong.

REPARATIONSMATERIAL	KOMMENTAR
Bitumenbaserade ytbeläggningar	Används för att göra en betongyta vattentät eller (i viss utsträckning) för att skydda den mot vittring. Materialet kan bestå av asfaltbitumen eller kol-tjärabitumen.
Betong (Portland cement), murbruk och injekteringsbruk	Det finns många fördelar med att använda dessa material vid reparationer: likartade termiska egenskaperna (jämfört med befintlig betong), likartat utseende, jämförelsevis billigt, och lättillgängligt.
Epoxi	Användningsområden: (a) som adhesiv då plastbaserad betong skall fogas till en betongyta, (b) vid lappning, och (c) som en ytbeläggning för skydd i aggressiva miljöer.
Expanderande betong, murbruk och injekteringsbruk	Används för att motverka problem med krympning. Reparationsmaterialets egenskaper anpassas så att expansions- och krympspänningar tar ut varandra.
Linfröolja	Används i allmänhet för att förhindra eller minimera avflagning.

Tabell 10-3 forts.

REPARATIONSMATERIAL	KOMMENTAR
Latexmodifierad betong (latex-modified concrete)	Används i allmänhet för att förnya ytan på golv och brobanor med nedbruten betongyta. I regel erhålls (jämfört med vanlig betong) högre styrka, bättre bindning till befintlig betong, bättre motstånd mot saltinträngning och bättre motståndskraft mot kemiska angrepp.
Polymerbetong (polymer concrete)	Har använts i stor utsträckning för att reparera brobanor och gatubeläggningar (på motorvägar). Jämfört med vanlig betong erhålls snabbare härdning, tidig hållfasthetstillväxt, god styrka i bindningen till underliggande material, samt utmärkt hållbarhet mot återkommande nedfrysnings- och upptyningscykler.

REKOMMENDATIONER

WES har efter genomgång av ett antal kriterier valt ut fem metoder som är lämpliga att använda vid reparation av sprick- och avskalningsskador på vattenkraftskonstruktioner (se nedan). Urvalskriterier:

- ☐ att både aktiva och inaktiva sprickor kan repareras;
- ☐ att en sprickutsatt konstruktionsdels strukturella egenskaper kan återställas;
- ☐ att reparerade sprickor kommer att vara vattentäta;
- ☐ att konstruktioner utsatta för fukt eller hydrauliskt tryck kan repareras;
- ☐ att konstruktionsdelens livslängd ökas;
- ☐ att den reparerade betongen är tät;
- ☐ att ingen synlig ärrbildning eller andra skönhetsfläckar bildas på den reparerade betongen.

De tre första metoderna nedan avser reparation av sprickor (för detaljinformation om dessa metoder hänvisas till referens o), de övriga två avskalningsskador. Alla kriterier uppfylls inte samtidigt för någon av metoderna:

Tryckinjektering, i allmänhet med epoxibaserade adhesiv, har använts för att reparera vattenkraftskonstruktioner sedan 60-talet. Kunskapsläget och teknologi- och materialkännedomen om metoden är följaktligen bra. Till fördelarna hör (a) inre och yttre försegling av sprickor, (b) kan användas på vattenmättade sprickor, och (c) går att använda på hydrauliskt trycksatta konstruktioner.

Polymerimpregnering som reparationsmetod har använts på befintliga betongkonstruktioner sedan 70-talets mitt. Vid tiden för REMR-sammanställningen av reparationsmetoder (1987) ansåg WES att metoden ännu inte var färdigutvecklad för rutinmässigt användande. Detta trots att den forskning som gjorts visat på mycket goda resultat: (a) låg permeabilitet, (b) utmärkt motståndskraft mot upprepade nedfrysnings- och upptyningsperioder, och (c) hög tryck- och böjhållfasthet. Till nackdelarna hör att materialen är toxiska och brandfarliga, samt att det är en relativt dyr metod.

Tilläggsarmering. Kunskapsläget och teknologi- och materialkännedomen om metoden är bra. Det är en mycket bra metod att använda då det gäller att både försluta sprickor och återställa den reparerade konstruktionsdelens strukturella egenskaper. Dess främsta nackdel är att den lokala förstärkning och förstyvning som uppnås kan medföra att det bildas nya sprickor i andra delar av konstruktionen.

Sprutbetong och beläggning med ett tunt skikt av armerad betong. Två metoder som är mycket bra för att skapa nya ytskikt på betongkonstruktioner som reparerats med andra metoder. Kunskapsläget är bra och bra utrustning finns tillgänglig.

FALLSTUDIER

Om inget annat sägs återfinns fallstudierna i referens *n*.

Tryckinjektering:

- ☐ *Daniel Johnson dam*. Sprickor i stöpelare och valvkonstruktion. Kortfattad beskrivning.
- ☐ *Pacoima dam*. Omfattande sprickor i en utskovstunnel. Kortfattad beskrivning
- ☐ *Twin lakes dam*. Sprickor i bågkonstruktion. Kortfattad beskrivning
- ☐ *Lock and dam 20, Pier 39, Canton, Missouri*. Omfattande sprickor i murpelare. Detaljerat dokumentationsmaterial (inkluderar rekommendationer).
- ☐ *Dam no. 20, Mississippi river*. Reparation av sprickor. Fält- och laboratorieförsök med 8 olika injekteringsadhesiv. Utförlig beskrivning. Stora kostnadsbesparingar. Referens a.

Polymerimpregnering:

- ☐ *Greenport bridge*. Brobana med svårt nedbruten betong. Kortfattad beskrivning.
- ☐ *Dworshak dam*. Kavitations och erosionsskador. Detaljerat dokumentationsmaterial.

Tilläggsarmering:

- ☐ *John Day navigation lock and dam*. Omfattande sprick- och avskalningsskador i monoliter. Detaljerat dokumentationsmaterial.
- ☐ *Markland locks and dam*. Sprickskador i valvkonstruktion. Kortfattad beskrivning.

REFERENSER

REMR-bulletinen:

- a. In situ repair of deteriorated concrete, 1989, 6/2, 5p.

Tekniska informationsblad:

- b. Selection of a crack repair method, CS-MR-3.1, 6p.
- c. Crack repair method: routing and sealing, CS-MR-3.2, 2p.
- d. Crack repair method: drilling and plugging, CS-MR-3.3, 2p.
- e. Crack repair method: external stressing, CS-MR-3.4, 2 p.
- f. Crack repair method: stitching, CS-MR-3.5, 2p.
- g. Crack repair method: conventional reinforcement, CS-MR-3.6, 2p.
- h. Crack repair method: grouting (Portland-cement and chemical), CS-MR-3.7,
- i. Crack repair method: drypacking, CS-MR-3.8, 2p.
- j. Crack repair method: epoxy injection, CS-MR-3.9, 3p.
- k. Crack repair method: flexible sealing of mastic filling, CS-MR-3.10, 3p.
- l. Crack repair method: polymer impregnation, CS-MR-3.11, 2p
- m. Spall repair, CS-MR-4.5, 12p.

Tekniska rapporter:

- n. In situ repair of deteriorated concrete in hydraulic structures: feasibility studies, REMR-CS-6, 1987, 80 p.
- o. In situ repair of deteriorated concrete in hydraulic structures: laboratory study. REMR-CS-11, 1988, 31p
- p. In situ repair of deteriorated concrete in hydraulic structures: a field study, REMR-CS-21, 1989, 45p.
- q. Spall repair of wet concrete surfaces, REMR-CS-25.

- ☐ Bedömning av kondition och livslängd
- ☐ Beläggning och ytbehandling:
- ☐ Speciella reparationstekniker.
- ☐ Exempel på fallstudier.

Reparation med geomembraner

SYFTE

Ge en översiktlig redogörelse av REMR-programmets erfarenheter av att använda geomembran vid reparationsarbeten av nedsliten eller skadad betong i vattenkraftkonstruktioner.

BAKGRUND

Ett flertal av Corps of Engineers betongdammar har sprickor som möjliggör för vatten att tränga in i eller genom konstruktionen. Trots att konventionella reparationsmetoder kan vara effektiva (informationsblad 10) så kvarstår i regel efter ett antal år ett behov av mer genomgripande reparationsinsatser.

Användande av geomembraner kan vara en lösning för att långsiktigt förbättra en skadad konstruktion. Mångårig erfarenhet av metoden finns i Europa (Tabell 11-1) och studier har även genomförts inom REMR-programmet.

Den erfarenhet som tillverkningsindustrin har av dessa artificiella material är fortfarande för kort för att förutse dess beständighetsegenskaper. Tillverkarna strävar efter att förbättra dess egenskaper, främst vad gäller styrka och kemisk- och bakteriell motståndskraft. Förutom vid dammbyggande så har geomembran på senare år använts i allt större omfattning som täta barriärer i t.ex. kanaler och lagringsbassänger.

Då en dammkonstruktion skall repareras görs i allmänhet installationen på ett sådant vis att materialet antingen utgör en del av en fyllningsdamms tätkärna, eller att det bildar ett nytt tätskikt på uppströmssidan av en fyllnings- eller en betongdamm.

Tabell 11-1. Användning av geomembran i dammkonstruktioner i Europa (referens e). Angivna årtal anger byggnadsåret för den tidigaste respektive senaste installationen i de länder som ingår i författarnas studie.

LAND	ANTAL	LAND	ANTAL
Albanien	1 (1996)	Schweiz	2 (1913-27)
Tjeckien	5 (1966-89)	Slovakien	2 (1960-76)
England	2 (1931-75)	Spanien	2 (1970-87)
Frankrike	25 (1931-96)	Tyskland	3 (1935-72)
Italien	27 (1917-97)	Österrike	7 (1957-97)
Portugal	2 (1951-58) ¹		

¹ I Portugal finns senare exempel - se avsnitt Fallstudier på s. 11-4.

DEFINITION AV GEOMEMBRAN

Inom REMR-programmet används i överensstämmelse med ICOLD 1991 termen geomembran för att beteckna sådana polymera membran vars material är flexibla och vattentäta, och vars tjocklek varierar mellan en halv till ett fåtal millimeter. Ett flertal olika typer av polymerer används för att tillverka geomembran (t.ex. plaster, elastomerer och blandningar av polymerer).

FRAMSTÄLLNING

Geomembran tillverkas i rullar med en minsta bredd om ca 2 m och i längder som beror på hur den skall användas. I dammsammanhang är längderna anpassade så att horisontella skarvfogar kan undvikas.

Eftersom betongytan för den konstruktion som skall repareras i regel är ojämn så används ett geomembran i kombination med geotextilier. Geotextilen ger ett extra skydd mot punktering och dränerar eventuellt vatten mellan betongytan och geomembranet.

INSTALLATION

Vid tidiga exempel på installation av geomembran på betongdammar fästes materialet med hjälp av stift eller med ett adhesiv direkt mot uppströmssidans betongyta. Under senare år har geokompositer (geomembran plus geotextil) installerats med hjälp av profiler av rostfritt stål som förankras i dammens konstruktionsbetong (Figur 11-1). Därigenom uppnås en god förankring av geokompositen och det går att förspänna geomembranet så att slackning till följd av materialets egetyngd kan undvikas.

FALLSTUDIER

1. Lake Baitone Dam (1930), Italien.

Ett tidigt exempel där geomembran användes som reparationsmaterial var på den 37 meter höga Lake Baitone-dammen 1970. Dammens uppströmssidan utgörs av en murverkskonstruktion med en betongyta vars skick var så pass dålig att en genomgripande reparation var nödvändig. En 2 mm tjock geomembran (polyisobutylene) applicerades direkt mot konstruktionen med ett adhesiv. Trots att isbildning vintertid hade orsakat vissa skador, som dock gått snabbt och enkelt att reparera, var konditionen på geomembranet fortfarande tillfredsställande efter mer än 20 års drift.

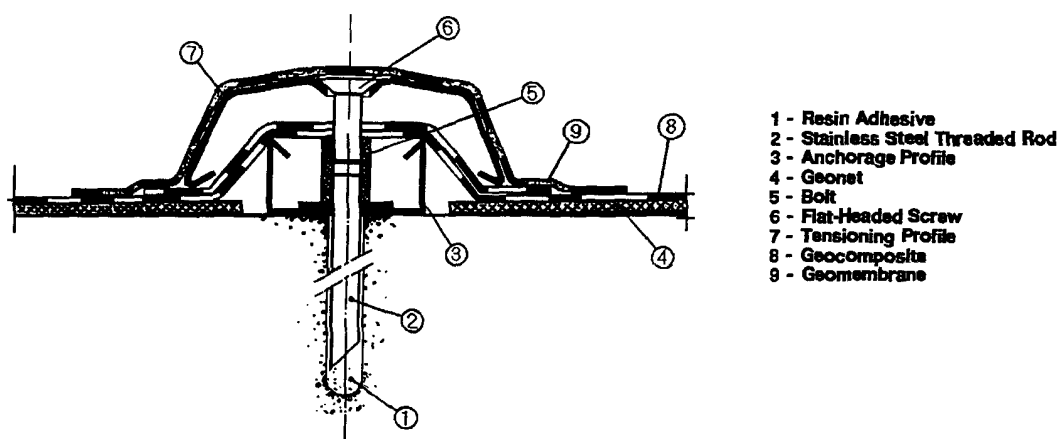
Liknande reparationsarbeten, men med sämre resultat, gjordes vid ett senare tillfälle på en gravitationsdamm. Förutsättningarna till att dränera bort vatten mellan geomembranet och betongen var betydligt sämre och efter laborationsförsök konstaterades att en mekanisk förankring i kombination med ett effektivt dräneringssystem var nödvändig.

2. Lake Nero Dam (1929), Italien.

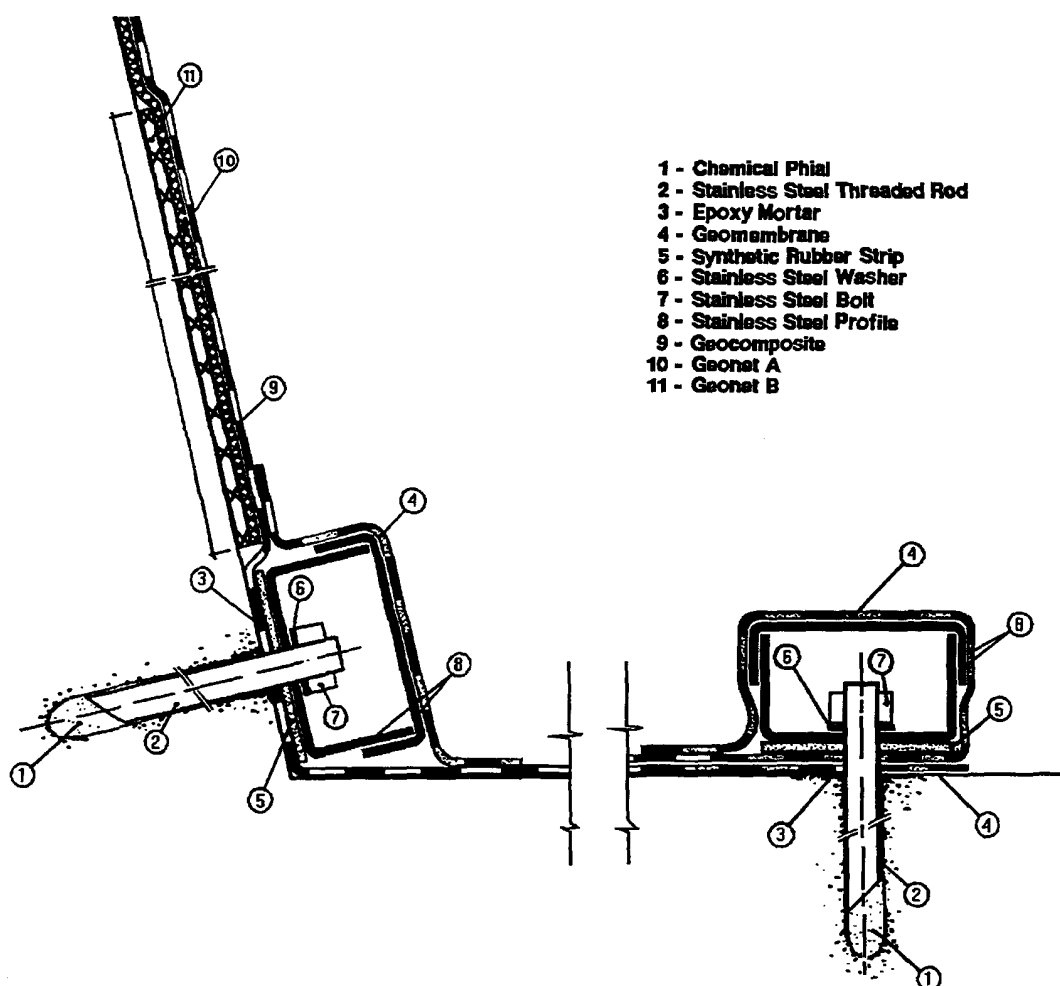
Upprepade försök att reparera läckageskador på denna 40 m höga gravitationsdamm har gjorts utan större framgång. 1980 installerades en geokomposit på uppströmssidan (förankring med stålprofiler), vilket reducerade läckaget från 50 l/sek till 0.27 l/sek. Det goda resultatet kvarstod efter 10 års drift.

3. Cignana Dam (1928), Italien.

Denna gravitationsdamm reparerades 1987 för att komma till rätta med omfattande läckage. Dålig betong avlägsnades från uppströmssidan och stålprofiler förankrades mot konstruktionen. Ett lager med sprutbetong lades på mellan stålprofilerna så att en ny frisk betongyta erhöles. Därefter förankrades en 2.5 mm tjock geokomposit mot stålprofilerna.



Figur 11-1a. Detalj av en vertikal förankring av en geokomposit.



Figur 11-1b. Förankringsdetaljer: en flatprofil (vänster bild) används vid försegling av geomembranet mot dammkrön, och en C-formad profil (höger bild) används vid förankring mot dammfot och mot anslutande geologi.

4. Pracana Dam, Portugal.

Strax efter att Pracana-dammen (lamelldammskonstruktion) stod klar uppstod sprickor som medförde läckage på nedströmssidan. Försök med att reparera skadorna med injektering gav dåligt resultat. Vid en genomgripande renovering 1992 installerades en geokomposit på uppströmssidan av dammen. Ett omfattande arbete lades ned på att säkerställa en effektiv dränering med möjlighet till övervakning av läckagemängder från olika delar av konstruktionen. Dessutom installerades ett elektriskt övervakningssystem som möjliggör identifiering av eventuella skador på geomembranet.

FÖRDELAR

Geomembran och geokompositer har framgångsrikt installerats på ett stort antal dammar under 30 års tid. Problem med läckage har effektivt kunnat åtgärdas, och fortgående nedbrytning av dammarnas konstruktionsbetong har kunnat stoppas. Forskning och utveckling pågår för att ta fram geomembransystem som kan installeras under vatten (referens *b-d*) och det finns numera sådana system ute på marknaden genom en av WES samarbetspartner (referens *f*). Installationer kan även utföras i kalla regioner med sträng miljöpåverkan i form av snö och is (t.ex. Publino damm i italienska alperna).

NACKDELAR

Med ett fåtal undantag så har installation av geomembran krävt att dammanläggningen tömts på vatten. Denna åtgärd kan bli mycket kostsam och medför att det i många fall är uteslutet att använda sig av metoden. Till nackdelarna hör också begränsad erfarenhet av materialens beständighetsegenskaper.

REFERENSER

REMR-bulletinen:

- a. Geomembranes for repair of concrete hydraulic structures, 1993, 10/4, 6p.
- b. Development of a geomembrane system for underwater repair of concrete structures, 1997, 14/1, 5p.

Tekniska rapporter:

- c. A conceptual design for underwater installation of geomembrane systems on concrete hydraulic structures. REMR-CS-50.
- d. A constructibility demonstration of geomembrane systems installed underwater on concrete hydraulic structures. REMR-CS-51.

Övrigt:

- e. Scuero, A. M. and Vaschetti, G. L. (1998). Working Group for geomembranes and geosynthetics as facing materials: Final Report, in Proceedings of the international symposium on new trends and guidelines on dam safety, Barcelona 17-19 June, ISBN 90 54109742, p. 1577-1586.
- f. ICOLD Bulletin No. 78 (1991). Waterproofing geomembranes for dams – state of the art.

Se även Informationsblad 8.

- ☐ Översyn och övervakning.
- ☐ Speciella reparationstekniker.
- ☐ Hänvisning till fallstudier.

Reparation med prefabricerade betongelement

SYFTE

Ge en översiktlig redogörelse av REMR-programmets erfarenheter av att använda prefabricerade betongelement vid reparationsarbeten av nedslitna eller skadade betongkonstruktioner.

BAKGRUND

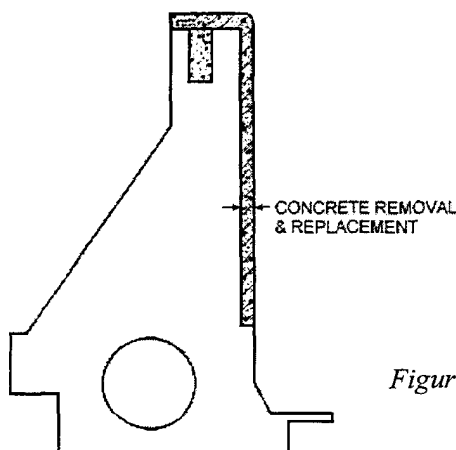
Ett projekt för utformning av prefabricerade betongelement vid reparation av äldre betongkonstruktioner initierades inom REMR-programmet i mitten av 80-talet. Initiativet var ett försök att komma till rätta med sprickbildningar i ung betong vid konventionella reparationer. Det ansågs dessutom viktigt att korta ner den tid som de aktuella anläggningarna (främst slussbassänger) behövde tas ur drift vid reparationsarbetena.

FÖRDELAR

Reparationer med hjälp av prefabricerade betongelement har möjlighet att ge betongytor med överlägsen hållfasthet och minimal sprickbildning. Metoden är dessutom kostnadsmässigt konkurrenskraftig jämfört med konventionella reparationsmetoder som baseras på platsgjuten betong.

KONVENTIONELL METOD

Vid konventionell reparation av betongväggar med ett undermåligt ytskikt avlägsnas den dåliga betongen och ny betong gjuts på efter formsättning (Figur 12-1). Sprickbildningar under härdningen har varit ett mycket vanligt problem; olika grader av sprickbildning har uppkommit vid merparten av de renoveringsprojekt med platsgjuten betong som utförts av Corps of Engineers'. Trots omfattande tester av olika material, olika blandningsförhållanden och olika utförandeprocedurer så har endast begränsade förbättringar uppnåtts.

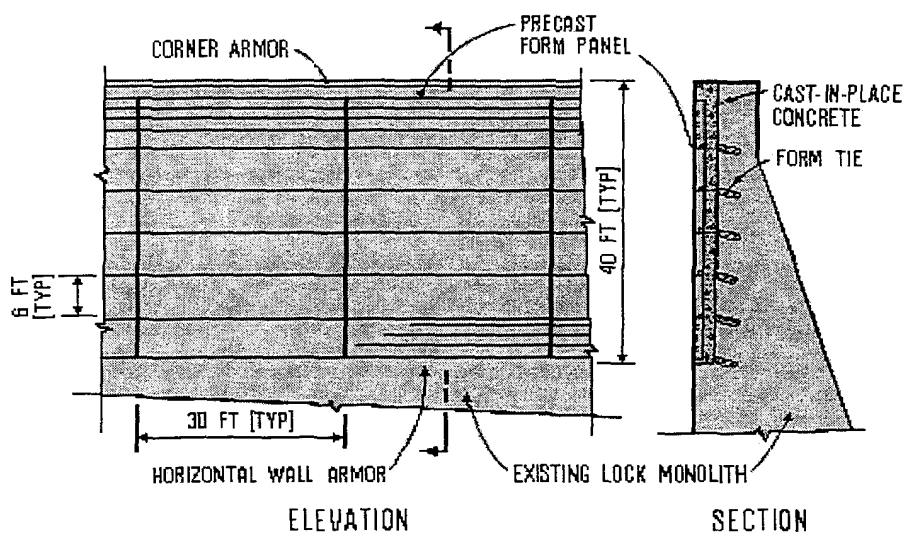


Figur 12-1. En betongvägg som reparerats med konventionell teknik, d.v.s. med ett lager formsatt platsgjuten betong.

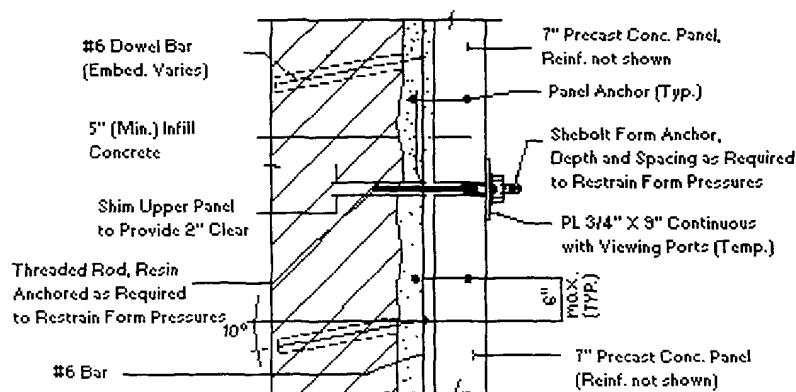
Sprickorna uppkommer då volymförändringar hindras genom vidhäftningen mot den existerande betongen när den färska betongen härdar (inre och yttre tvång). I de flesta fall ger sprickorna inte upphov till några omedelbara brister i konstruktionens funktion. Däremot kan sprickorna på sikt leda till kostsamma förnyade underhållsinsatser för att undvika att betongen bryts ner på nytt.

METOD BASERAD PÅ PREFABRICERADE BETONGELEMENT

Under de ca 10 år som Corps of Engineers har använt sig av metoden (även benämnd "stay-in-place forming system") har goda erfarenheter vunnits. Konstruktionen bör utformas enligt illustrationen i Figur 12-2. Reparationen består i att prefabricerade betongpaneler med horisontell utsträckning fästs mot den aktuella ytan med hjälp av infästningar som i sin tur gjutits fast i borrhål i frisk betong. Betongkvaliteten kan vara konventionell betong för prefabgjutning, eller modifierad för att möta specifika krav. Mellanrummet mellan betongelementen och betongväggen armeras och fylls ut med ny betong. Ett exempel på en detaljutformning visas i Figur 12-3. Ytterligare exempel på utformning av detaljer finns redogjorda för i artiklar och rapporter i referenslistan.



Figur 12-2. Utformning av betongväggsreparation med hjälp av prefabricerade betongelement.



Figur 12-3. Exempel på detaljutformning.

FALLSTUDIER

Framgångsrika exempel på när metoden har använts finns dokumenterade i ett flertal fallstudier:

Referens a: Reparation av damm- och slusskonstruktion vid Troy, New York (Hudsonfloden).

Referens b: Renovering av damm- och slusskonstruktion vid Alleghenyfloden (Pittsburgh).

Referens c: Renovering av betongkonstruktioner vid Court Street Dam, Rochester, New York.

REFERENSER

REMR-bulletinen:

- a. REMR-designed stay-in-place concrete forming system used for concrete repair at Troy Lock and dam, 1993, 10/1, 6p.
- b. Precast concrete panels used to rehabilitate Allegheny River Lock and Dam No. 4, 1995, 12/3, 7p.
- c. Rehabilitation of concrete structure and steel sector gates at the Court Street dam in Rochester, New York, 1996, 13/3.

Tekniska informationsblad:

- d. Lock wall rehabilitation, CS-MR-1.13, 1991, 3p.

Tekniska rapporter:

- e. Design of a precast concrete stay-in-place forming system for lock wall rehabilitation, REMR-CS-7, 1987, 41p.
- f. A demonstration of the constructibility of a precast concrete stay-in-place forming system for lock wall rehabilitation, REMR-CS-14, 1987, 66p.
- g. Analysis of concrete cracking in lock wall resurfacing, REMR-CS-15.
- h. Concepts of installation of the precast stay-in-place forming system for lock wall rehabilitation in an operational lock REMR-CS-28.
- i. Comparison of cast-in-place concrete versus precast concrete stay-in-place forming systems for lock wall rehabilitation, REMR-CS-41, 1993.
- j. Applications of precast concrete in repair and replacement of civil works structures, REMR-CS-49, 1995.

- ☐ Tillsatsmedel.
- ☐ Speciella reparationstekniker.

Antiurvaskningsmedel för undervattensgjutning av betong

SYFTE

Att ge en översiktlig redogörelse av REMR-programmets erfarenheter av att använda anti-urvaskningsmedel (AUV) för att förbättra egenskaperna hos undervattensgjuten betong.

BAKGRUND

Om skador har uppstått under vatten kan reparationen utföras antingen genom att det skadade partiet torrläggs eller genom att utföra reparationen under vatten. Undervattensgjutning med betong är ett alternativ som används i de fall som skadeorsaken eliminerats och/eller inte förväntas upprepas. Oavsett metod har undervattensgjutningar tidigare ofta resulterat i betong med bristande kvalitet genom urvaskning av cement och finmaterial.

I Västtyskland utvecklades under slutet av 70-talet undervattensbetong med egenskaper som förbättrade betongmassans sammanhållning och därmed gav en minskad risk urvaskning. Förbättringarna uppnåddes genom en ny typ av tillsatsmedel, s.k. antiurvaskningsmedel, vilka ger betongmassan en kladdig och trögflytande konsistens. Materialutvecklingen har därefter bland annat drivits vidare i Japan.

Ett laboratoriestudie genomfördes vid WES under slutet av 80-talet för att utvärdera AUV-medlens egenskaper (Fas I) och för att studera olika tillvägagångssätt att placera ut betongen (Fas II).

FÖRDELAR

Reparationer som gör att vattennivån i dammagasinet inte behöver sänkas är av stor ekonomisk vikt (kostnaden för torrläggning står i genomsnitt för ca 40 % av den totala reparationskostnaden).

Det finns inga kända miljöfarliga egenskaper för AUV-medel (uppgiften gäller de medel som har behandlats inom REMR-programmet).

NACKDELAR

En kritisk negativ egenskap är dock att AUV-betong får en dålig frostbeständighet. Kunskapsläget om detta är i dagsläget begränsat men utfallet från tester enligt dagens teststandarder visar detta mycket tydligt.

KONVENTIONELL METOD

Betonggjutningar under vatten har utförts sedan senare hälften av 1800-talet. Den s.k. Tremie-metoden har varit helt dominerande där betongmassa tillförs genom ett rör som hålls nedsänkt mot gjutstället, d.v.s. urvaskningen av cementpasta minimeras genom att hålla kontakten med omgivande vatten så liten som möjligt. Ett exempel på en reparation där en Tremie-utrustning använts för att placera ut konventionell betong redovisas i referens c.

LABORATORIETEST AV BETONG MED AUV-MEDEL (Fas I)

REMR-programmets testprogram omfattade fem utvalda AUV-medel. Eftersom samtliga medel resulterade i en avsevärd ökning av betongens kohesion så var man tvungen att använda dem i kombination med vattenreducerande tillsatser (VR-medel) för att öka betongmassans arbetbarhet. För öka betongens nötningsbeständighet ingick även inblandning av silika i testerna. Egenskaperna testades enligt:

- Tvåpunkters apparatur för arbetbarhet (Tattersall and Banfill, 1983, se referens g).
- Urvaskningstest: bestämning av relativ förlust av cementpasta vid exponering av stora mängder vatten. Vid provning placeras betongblandningen i en metallnätsbehållare. Behållaren får därefter falla ner genom en vattenkolumn. Försöket utförs tre gånger; efter varje tillfälle bestäms massförlusten.
- Nötningstest enligt CRD-C 63-80 "Test method for abrasion-erosion resistance of concrete" (UV-betong). Metoden används (något reviderad) som ASTM-standard¹.

Resultatet från testerna redovisas i Tabell 13-1.

Tabell 13-1. AUV-medlen A, B, C och D är cellulosabaserade; E är baserat på polyetylenoxid. VR-medlen är lignosulfonat, melamin, naftalen och hydroxylkarboxylsyra (HCA). Kursiverade recept ger urvaskningsförluster < 3%.

Mix	Cement (lb)	Silika (lb)	Flygaska (lb)	AUV	VR	VCT	Urvaskning (%)	Nötningsförlust (cm ³ /cm ²)	Arbetbarhet
1	353	--	353	--	HCA	0.40	12.64	0.392	Bra
2	590	89	--	E	Lig	0.40	7.46	0.343	Medel
3	700	105	105	A	Lig	0.32	1.05	0.351	Medel
4	590	89	--	B	Mel	0.36	2.39	0.379	Medel
5	590	89	--	C	Naf	0.36	8.09	0.330	Bra
6	549	61	61	--	Lig	0.42	3.48	0.453	Bra
7	590	89	--	A	Lig	0.36	2.25	0.369	Medel
8	590	89	--	D	Naf	0.36	6.81	0.368	Bra
9	590	89	--	C	Mel	0.6	2.83	0.382	Medel
10	700	105	105	B	Lig	0.32	1.59	0.404	Bra

Tabellen visar att blandning 1, som helt saknade AUV-medel, uppvisar kraftig urvaskning. Vidare kan konstateras att blandningarna med AUV-medel baserade på cellulosa uppvisar bättre egenskaper än den blandning som innehöll ett AUV-medel baserat på polyetylenoxid. Den bästa kombinationen utgörs av vilken som helst av cellulosamedlen i kombination med VR-medlen lignosulfat eller melamin. Dessa kombinationer (kursiverade) ger blandningar vars urvaskningsförluster är mindre än 3%.

Samtliga blandningar uppvisar jämförbara nötningsförluster och arbetbarhet. Resultaten ovan visar dock en tendens till att nötningsförlusterna blir mindre för betong utan AUV-medel. Detta motsägs dock av resultat som redovisas i referens g; lägsta möjliga vct skall användas för att öka nötningsbeständigheten (0.4 – 0.42).

¹ American Society for Testing and Materials.

FÄLTFÖRSÖK MED UNDERVATTENSGJUTNING (Fas 2)

WES utvärderade i en serie fältförsök tre metoder för att placera ut betongen under vatten, nämligen:

1. Fritt fall genom 3 fot vatten, d.v.s. utan skydd mot utspädning.
2. Pumpning direkt till gjutningsstället, d.v.s. helt skyddad betong.
3. Lutande störträna, s.k. lutande tremie (betongen endast delvis skyddad).

Resultaten visar att en kohesiv, självnivellerande och nötningsbeständig betong kan placeras under vatten med samtliga tre metoder om en bra materialblandning används och försiktighetsåtgärder vidtas. WES rekommenderar dock inte att metoden med fritt fall används vid reparationsarbeten eftersom betongen utsätts för viss utspädning. En allmän genomgång av olika metoder för undervattensgjutning redovisas i referens g.

ANDRA KÄLLOR

I Japan används vanligtvis tillgängliga kommersiella AUV-medel i kombinationer med VR-medel enligt Tabell 13-2 (referens b). I den japanska undersökningen fastslås att det finns ett antal problemområden som behöver studeras vidare:

1. Skillnader i prestanda hos de AUV-medel som finns på den japanska marknaden.
2. Skillnader i blandningsförfarande och gjutningsmetoder hos olika entreprenörer
3. AUV-betongs frostbeständighet.

Detta betyder att det finns ett behov av ökad förståelse för AUV-betongs kvalitet och om själva gjutningsutförandet.

Tabell 13-2. Kombination av olika typer av AUV-medel och VR-medel.

Antiurvaskningsmedel		Vattenreducerande medel
Cellulosabaserade	⇔	■ Melamin (triazin)
Acrylbaserade	⇔	■ Naftalen
		■ Melamin (triazin)
		■ Acrylbaserade
		■ Polykarbonsyra

REFERENSER

REMR-bulletinen:

- a. Anti-washout admixtures for use in underwater concrete placement, 1987, 4/2, 7p.

Tekniska informationsblad:

- b. Antiwashout admixtures for underwater concrete, CS-MR-7.2, 1991, 9p.
- c. Case history of underwater concrete repair: repair of stilling basin, Webbers Falls lock and dam, Arkansas River, using Tremie concrete, CS-MR-8.11985, 4p.
- d. Specialized repair technique: concrete underwater, CS-MR-9.3, 1994, 3p.

Tekniska rapporter:

- e. Evaluation of concrete mixtures for use in underwater repairs, REMR-CS-18, 1988, 104p.
- f. Laboratory evaluation of concrete mixtures and techniques for underwater repairs, REMR-CS-34, 1990, 81p.
- g. Underwater repair of concrete damaged by abrasion-erosion, REMR-CS-37, 1991, 224p.

- ☐ Översyn och övervakning.
- ☐ Reparationsmaterial
- ☐ Speciella reparationstekniker.

Lagningsmaterial för erosionsskador i betong

SYFTE

Att informera om verksamhet inom REMR-programmets som avser att begränsa uppkomst av erosionsskador på betongkonstruktioner samt att visa på metoder för att reparera skador när de har uppkommit.

BAKGRUND

Skibord, utskov och energiomvandlare är konstruktionsdelar som är speciellt utsatta för erosionsskador i form av kavitation och nötning. Vid en genomgång av rapporterade skador från US Corps of Engineers vattenkraftsanläggningar visade sig erosion utgöra en av de vanligaste skadeorsakerna. I majoriteten av fallen var skadorna ringa eller måttlig omfattning (se Informationsblad 1).

SKADEORSAKER

Kavitation kan uppstå i situationer med hastigt strömmande vatten, speciellt över ojämna ytor eller vid abrupta nivåskillnader. Vid tillräckligt hög vattenhastighet bildas ett lokalt undertryck och ångbubblor bildas som följer med vattnet vidare nedströms. När bubblorna når områden med normalt tryck, d.v.s. när vattenhastigheten sjunker, så imploderar de och ger upphov till shockvågor. När en sådan chockvåg träffar en betongyta så induceras höga spänningar över en avgränsad yta vilket kan resultera i en punktskada. Betongytans råhet kommer då att öka vilket i sin tur kan leda till tilltagande kavitationsproblem. Om det dessutom förekommer suspenderat material i vattnet, eller om det finns grus och sten över betongytan, så förvärras effekten av strömmande vatten ytterligare genom nötning. Vid långvarig nötnings-exponering fås skadeverkning oavsett betongkvalitet. Några exempel på situationer som gett upphov till skador är:

- Avgränsad strömningsavlösning (riktningsverkan i speciella avsnitt i konstruktionen).
- Strömningsvirvlar som skapats av utsläppstillskott av vatten nedströms huvudkällan.
- Närliggande konstruktions- eller reparationsarbeten, t.ex. en kassun.
- Icke-symmetriskt utsläpp till en stillningsbassäng.
- Nötning genom sediment/grusmaterial.
- Ogynnsamma topografiförhållanden.

SPECIELLA HYDRAULISKA HÄNSYNSTAGANDEN

Skadeverkningar av erosion kan begränsas med kvalificerade konstruktions- eller reparationsmaterial. I samband med svåra hydrauliska förhållanden så räcker det i allmänhet inte med att använda ett nytt konstruktionsmaterial som enda åtgärd. För större anläggningar bör en hydraulisk modell upprättas innan reparationsarbetet påbörjas. Därmed kan utsatta delar identifieras och effekten av de modifieringsalternativ som står till buds kan utvärderas.

REPARATIONSMATERIAL

Erosionsbeständigheten för konstruktions- och reparationsmaterial behöver kunna testas. Betongmaterialytor har i USA testats med olika typer av apparater baserade på friktion, av-svarvningsskivor, blästring (ASTM C 418) och rullande stålkulor under tryck (ASTM C 779). Eftersom dessa tester är utformade för att prova nötningsbeständigheten vad gäller motortrafikbelastning så är överensstämmelsen dålig med de krav som ställs på betong inom vattenkraftkonstruktioner. REMR-programmet har istället använt sig av Corps of Engineers "Test method for abrasion-erosion resistance of concrete (underwater method)". Testet innebär att provkroppar av betong sänks ned i en tank med vatten. Vattnet hålls i rörelse av skovlar (6 f/s). Till följd av vattnets rörelse roterar ett antal stålkulor på provernas ytor som därmed utsätts för nötning. Under testets gång tas prover ut från kammaren och graden av nötning bestäms i form av procentuell materialförlust.

Faktorer som inverkar på betongs erosionsbeständighet:

- För god erosionsbeständighet skall betongblandningen innehålla maximal mängd stenhalt av hög hårdhet. Vidare skall vct vara så låg som det är praktiskt möjligt.
- Genom stålfiberinblandning förbättras visserligen betongens slaghållfasthet men nötningsbeständigheten är sämre än konventionell betong (främst beroende på att andelen ballast minskar). Stålfiberinblandning ger dock ett ökat skydd mot kavitationsskador.
- Erosionsbeständigheten för vakuumbehandlad betong, polymerbetong, polymerimpregnerad betong och polymer portlandcementbetong är avsevärt bättre än för konventionell betong.
- Ett flertal ytbehandlingsmaterial har uppvisat god nötningsbeständighet i laboratorium (polyuretaner, epoxihartser, furylhartser, akrylbaserade bruk och järnbaserade påfärgningar). Från fältförsök rapporterade i mitten av 80-talet har materialen i viss mån visat sig vara besvärliga att använda. Detta har främst berott på felaktiga ytbehandlingar och att applicering har skett vid felaktiga temperaturer. Användbarheten bör ha förbättrats sedan dess, men REMR-materialet saknas referenser till senare resultat.

REFERENSER

Tekniska informationsblad:

- a. Repair of structures damaged by abrasion-erosion, CS-MR-9.1, 5p.
- b. Repair of structures damaged by cavitation-erosion, CS-MR-9.2, 2p.

Tekniska rapporter:

- c. Review of the state of the art for underwater repair using abrasion-resistant concrete REMR-CS-19.
- d. Underwater repair of concrete damaged by abrasion-erosion, REMR-CS-37, 1991, 224 p.

Detta blad innehåller information om:

- ☐ Översyn och övervakning.
- ☐ Beläggning och ytbehandling.
- ☐ Lagning av ytor.
- ☐ Speciella reparationstekniker.
- ☐ Injektering.
- ☐ Fallstudier

Reparation av läckande dilationsfogar: fallstudier och erfarenheter

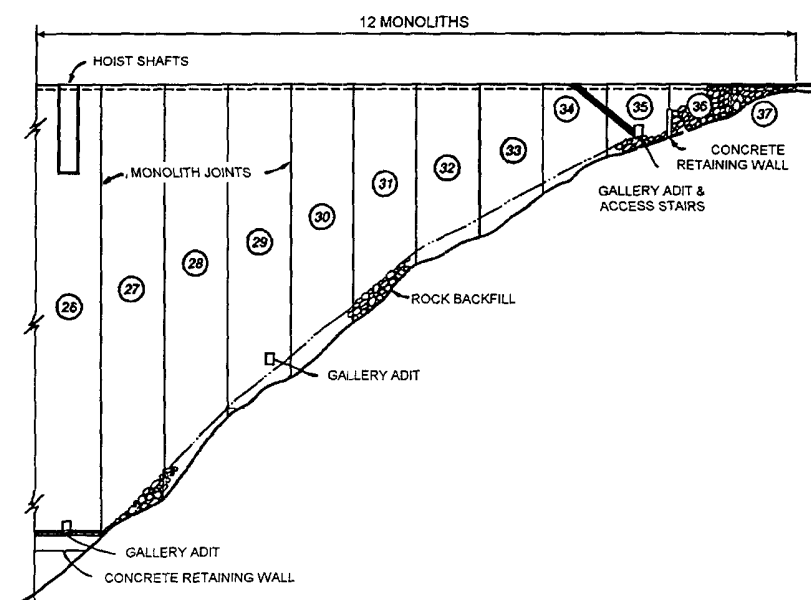
SYFTE

Kunskapsåterföring i form av dokumenterade reparationsprojekt på vattenkraftsanläggningar har varit en viktig del av REMR-programmet. I detta informationsblad ges information om de delar av materialet som omfattar reparation av läckage i anslutning till dilationsfogar i betongkonstruktioner. För en detaljerad genomgång hänvisas till referenslistan.

FALLSTUDIER

För att förhindra att vatten transporteras genom de dilationsfogar som finns mellan en konstruktions enskilda betongmonoliter (Figur 15-1) så bygger man i regel in någon form av fogband. Både styva material (stål, koppar, bly eller trä) och flexibla material (vanligtvis PVC) förekommer. Ett läckage uppstår om fogbandet av någon anledning skadas; i vissa fall kan en sådan skada medföra att konstruktionens funktion och säkerhet hotas.

Den genomgång av tillståndsläget som WES har gjort US Army Corps of Engineers vattenkraftsanläggningar (Informationsblad 1) visade att materialet om anläggningarnas skadehistoria i mycket liten omfattning ger anvisningar om orsaken till de läckageskador som har inträffat. Man tror dock att läckagen många gånger har uppstått till följd av skador på dilationsfogarnas fogband. En sammanställning av ett antal reparationsprojekt listas nedan. Detaljerna återfinns i referens i.



Figur 15-1. Exempel på utformning av konstruktionsfogar på en gravitationsdamm (Pine Flat Dam).

1. Algiers Lock, Louisiana (1952).

Slusskonstruktion med ett fogband av koppar. Återkommande problem med klimatrelaterade rörelser i konstruktionen som medfört att fogbandet skadats. Konstruktionen reparerades med ett syntetiskt gummimaterial.

2. Michael J. Kirwan Dam, Ohio (1966).

Omfattande sättningsproblem under konstruktionsarbetet medförde att ett flertal skarvfogar öppnades (max 12-3/4 fot). Beroende på respektive öppnings storlek så användes olika material för konstruera nya fogband (neoprenmembran, polyetylenskum).

3. Sardis Dam, Mississippi.

Fogarna i anläggningens betongkonstruktion har fogband av koppar. Efter återkommande rapporter om läckage, där vissa av fogarna förde vatten med sand i suspension, togs beslut om reparationsåtgärder. Dessa kom att omfatta injektering av olika delar av konstruktionen vid tre olika tidpunkter. Vid första tillfället användes portlandcement och flygaska, vid det andra tillfället användes Typ I portlandcement med 3 lb bentonit per säck cement (i syfte att reducera krympning), och vid det tredje tillfället användes lättflytande cementpasta. Vid det sista tillfället utfördes även förnyad injektering av tidigare injekteringsarbeten.

4. Lock and Dam No. 3, Arkansasfloden.

Denna betongkonstruktions fogar byggdes utan fogband i de vertikala fogarna. Allvarliga läckageproblem nödvändiggjorde installation av ett nytt fogband. Ett flexibelt material krävdes eftersom konstruktionen är utsatt för rörelser. Vertikala borrhål som sammanföll med fogarna borrades varefter butyltuber installerades 1969. För att trycka ut butyltuben mot borrhålets väggar fylldes de ut med ett krympfritt injekteringscement. Klimatrelaterade rörelser i konstruktionen medförde dock att de cementfyllda rören inte gick tillbaka till sitt ursprungliga läge efter att under sommaren efter reparationen ha tryckts ihop i samband med att betongen expanderade. Följden blev att nya läckageproblem uppstod. Efter att flera alternativa lösningar studerats valdes 1971 att installera ett liknande rör (EDEM-polymer) som fylldes med en baroidbaserad vätska av hög densitet (150 lb/cu ft). Resultatet av reparationen förefaller att ha blivit lyckat.

5. John Day Lock and Dam, Columbiafloden (1963).

Efter en första inspektion 1968 konstaterades att flera av betongkonstruktionens fogar hade omfattande läckageproblem. Skadorna hade uppstått till följd av skadade och/eller felaktigt installerade fogband. En lösning valdes som innebar att de läckande fogarna reparerades samtidigt med att konstruktionen tömdes på vatten. Efter rengöring och torkning av fogarna installerades ett elastiskt fogband (gummilister). Resultatet blev dock bristfälligt. 1971 installerades istället ett gummimembran som placerades över fogarna och förankrades mot konstruktionsbetongen med hjälp av ett epoxibaserat adhesiv. Denna lösning visade sig fungera bra. Nya fogläckage uppstod 1972-75, vilka reparerades 1975 enligt samma koncept som användas 1971. Ytterligare fogläckage rapporterades från inspektioner 1981. I dessa fall genomfördes reparationerna framgångsrikt med injektering av ett kemiskt baserat injekteringsbruk (hydrophilic polyuretane gel).

6. Ice Harbor Lock and Dam, Washington.

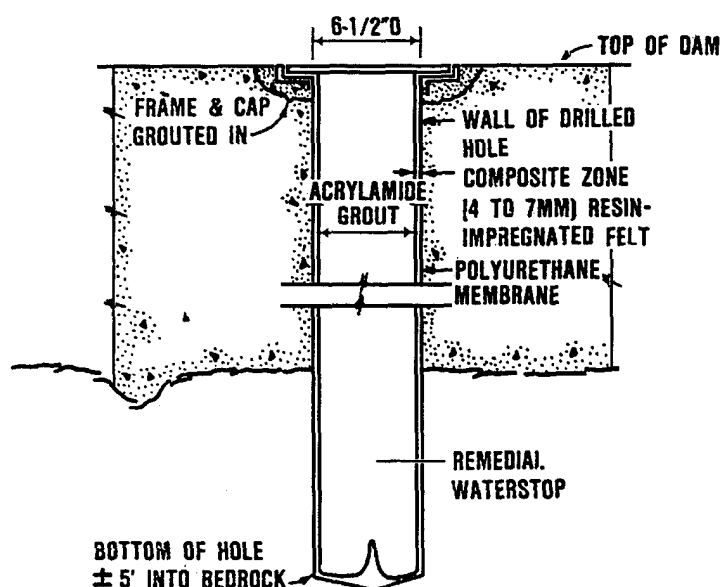
I inspektionsrapporterna från 1966-76 rapporterades att fogbandet i ett flertal fogar på konstruktionen fungerade bristfälligt. Först 1977 ansågs det nödvändigt att vidta åtgärder och tester genomfördes i borrarade testhål med fyra olika elastiska fyllnadsmaterial. Bäst resultat uppnåddes med ett injekteringsmedel baserat på akrylamid (AM-9) och inert mineralfiller. I enlighet med detta genomfördes injektering av ett flertal fogskador. Samma lösning har använts vid ytterligare reparationer av fogskador under åren 1978-1981, liksom vid motsvarande reparationsarbeten på Lower Monumental Lock and Dam, Washington.

7. Little Goose Dam, Snake River (1970).

Samma år som konstruktionen färdigställdes påträffades ytsplittringsskador på betongen i anslutning till konstruktionens vertikala fogar. Skadorna ökade i omfattning påföljande år. Konstruktionens enskilda betongmonoliter uppvisade dessutom individuella lägesförändringar som medfört problem med fogläckage. Vid ett metodtest borrades ett hål utmed fogens längd som inspekterades med en videokamera. Ytan på borrhålets väggar var ojämn med inslag av skjuvskador. Man valde därför att installera ett foderrör (motståndskraftig nylonförstärkt brandslang av polyvinyl) som fylldes med bentonitslurry (10 viktsprocent). Läckaget minskade med 90 %, men eftersom metoden krävde visst underhåll provades alternativa lösningar. Foderröret avlägsnades och borrhålet injekterades med ett elastiskt injekteringsmedel (akrylamid, AM-9). Denna metod valdes senare för det fullskaliga reparationsarbetet (1978). Året därpå konstaterades att vissa av fogarna läckte och en förnyad injektering samt reparation av ytterligare skador genomfördes 1981.

8. Pine Flat Dam, Nevada (1954).

Fogarna i denna gravitationsdamm i betong har fogband av koppar. Läckage hittades i början av 1970-talet. Omfattningen tilltog successivt och problemen hänfördes till skador på fogbandet (skadeorsaken gick inte att fastställa). 1979 genomfördes reparation av tre fogar genom injektering med ett elastiskt injekteringsmedel i vertikala borrhål genom fogarna (vatten + acrylamid pulver + celite + katalysator + initiator). Reparationerna verkade till en början fungera tillfredsställande, men året därpå ökade läckagemängderna till samma nivå som förut. Efter ett anbudsförfarande valdes 1985 en metod som innebar att en tubliknande liner (polyuretanmembran med ytterskikt av filt) placerades i hålet och limmades fast mot betongytan (elastisk limfog). Därefter fylldes tuben med ett kemiskt injekteringsmedel (akrylamid/bentonit/celite), och slutresultatet blev en kärna som är både stark och flexibel (se Figur 15-2). De krav som reparationen skulle uppfylla var, förutom att skydda nedströms vatten drag mot föroreningar, att reparationen skulle (a) reducera fogläckaget med 75 %, (b) tillåta rörelser hos de enskilda betongmonoliterna, (c) motstå tryck motsvarande 200 fot (61 m) vattenpelare, och (d) inte allvarligt påverka dammens funktion. Resultatet av reparationerna blev bra, med inget läckage genom den ena fogen och små mängder genom de två andra fogarna.



Figur 15-2. Slutligt utförande av nya fogband i tre konstruktionsfogar på Pine Flat Dam.

9. Dardanelle Lock and Dam, Arkansasfloden (1969).

Dardanelles slusskonstruktion hade 1975 sex vertikala fogar med läckage vintertid. Orsaken till läckagen hänfördes till skadade fogband av koppar. Flera alternativa lösningar studerades och valet föll på en metod liknande den som användes vid reparationsarbeten på Lock and Dam No. 3 (exempel 4 ovan). Eftersom borrhålen behövde göras djupare i detta fallet så var det praktiskt att använda jutevävsäckar mättade med en kemikalie som vid kontakt med vatten expanderar fyra gånger sin ursprungliga volym. I ohärdat tillstånd är kemikalien en toxisk lågviskös vätska som efter härdning blir i stort sett ofarlig. Arbetet genomfördes 1981-82 utan att konstruktionen behövde tömmas på vatten. Efter reparationen minskade läckagen med 95 %.

10. Applegate Dam, Oregon (1980).

Applegate är en jorrdamm där delar av konstruktionen är utförda av betong. Vid en inspektion 1981 påträffades omfattande läckage genom tre dilationsfogar på en utloppsränna. Ska-deorsaken hänfördes till att betongen intill fogbandet skadats till följd av dålig kontakt mellan betongen och fogbandet. Risken för omfattande erosion på tät kärnan gjorde att reparationsinsatser genomfördes omedelbart. Ett kemiskt injekteringsmedel (hydofil polyuretangel) pumpades genom två borrhål som borrats fram till fogbandets baksida. Resultatet av reparationen blev bra. Vid inspektioner 1984 upptäcktes ytterligare läckage. Dessa reparerades på samma sätt som tidigare.

11. Richard B. Russel Dam, Georgia/South Carolina.

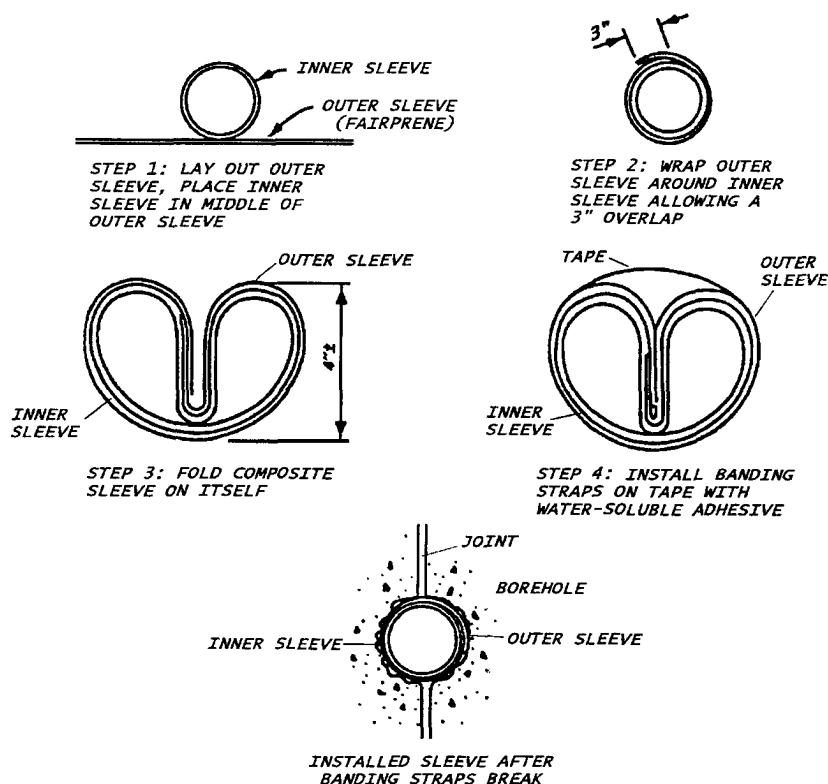
Denna gravitationsdamm av betong började uppvisa läckage i vissa av dilationsfogarna under 1982. Problemen förvärrades under 1983. Ett åtgärdsprogram togs fram för att komma till rätta med problemen:

- a. Kvantifiera läckaget.
- b. Ta fram och utföra test för att lokalisera läckagen, bestämma dess orsak, samt ta fram förslag på lämpliga åtgärder.
- c. Utföra reparationstest.
- d. Kvantifiera läckaget efter testreparationen.
- e. Utföra ytterligare tester om nödvändigt.
- f. Utföra Fas I-reparationer i enlighet med resultaten från testerna. Konstruktionen fylls därefter med vatten.
- g. Utför Fas-II reparationer för att komma till rätta med de läckage som kvarstår.

Efter att de första undersökningarna genomförts konstaterades att läckagen var oacceptabelt stora. Ett omfattande undersökningsprogram för att lokalisera sprickorna vidtogs (tester med rök, tryckluft, IR-kamera och färgat vatten, samt med akustiska ofp-metoder. Det kunde där- efter konstateras att läckagen härrörde från dåligt vibrerad betong, otillräcklig bindning mellan två påföljande gjutningar, sprickor och/eller skadade fogband. Efter testfasen valdes ett utförande (Fas I) där läckande vertikala dilationsfogar tätades med ett elastiskt injekterings- bruk som tolererar förväntade rörelser om ca 6 mm ($\frac{1}{4}$ inch). I Fas II reparerades kvarva- rande läckage enligt individuella lösningar. Dykare placerade med gott resultat glasfibervajer indränkta med ett epoxilim i de dilationsfogar som fortfarande läckte. Dessutom utfördes ytterligare injekteringsarbeten. Läckaget uppgick vid de första testerna till mer än 11,3 m³/min (februari 1983). Efter Fas-I reparationerna minskade mängden till 3,6 m³/min (sen- sommar 1983), och efter Fas-II reparationerna till 1,3 m³/min (hösten 1983). Vid uppfölj- ningsmätningar längre fram har läckagen pendlat mellan max 3,8 m³/min (februari 1985) och min 0,5 m³/min (oktober 1985). Läckagen är således högre vintertid då konstruktionen drar sig samman.

12. Bagnell Dam, Montana (1931).

Gravitationsdamm i betong som 1984 hade läckage i sex vertikala dilationsfogar. Den anlätade entreprenören konstruerade nya fogband genom att borra vertikala hål genom fogen där en gummimanchett installerades och fylldes med vatten. Orsaken till läckaget hänfördes till dåligt konsoliderad betong i anslutning till fogbandet (kopparplåt), förekomst av hålrum och bristfälligt fogutförande. Gummimanchetten var tillverkad av naturgummi med ett förstärkt ytterskikt av neopren/nylon. Tillvägagångssättet för installationen visas i Figur 15-3. Resultatet av reparationen blev en ca 60 % reduktion av läckagen. Minskningen skedde redan vid borrhingsarbetet genom att borrhax fyllde igen och tätade flödesvägarna. Ingen yttre reduktion observerades således efter installationen av gummi/vattenpackningen.



Figur 15-3. Installationsprocedur.

DISKUSSION

Typiska defekter

Till typiska defekter på ett fogband hör:

- Omfattande rörelser i fogen som leder till att fogbandet skadas.
- Hålrum i anslutning till fogbandet orsakad av dåligt komprimerad betong.
- Förörening av fogbandets yta som förhindrat avsedd bindning mot betongen.
- Punktering av fogbandet under konstruktionsfasen, alternativt att fogbandet överhuvudtaget inte har installerats.
- Brott i fogbandet beroende på dålig eller ingen svetsning av fogbandets skarvar.

Metodval

Eftersom det vanligtvis är svårt att avlägsna tillräckligt mycket betong utmed en fog så att ett fogband kan bytas ut så är injektering eller installation av ett sekundärt fogband de åtgärder som oftast används vid reparationsarbeten. Metoderna kan grupperas med avseende på fyra

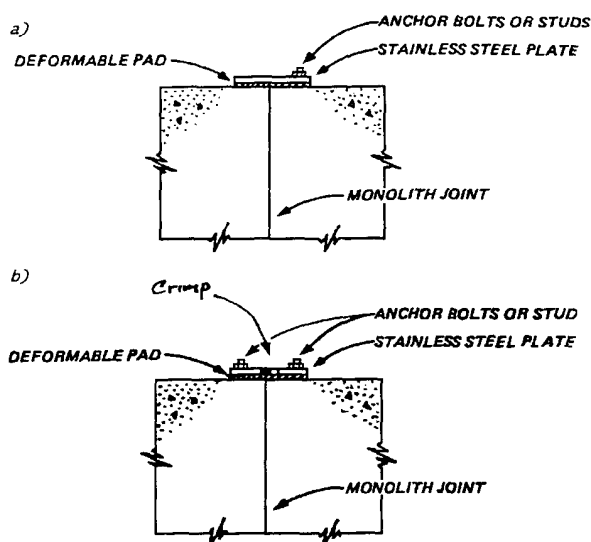
fyra basutföranden:

1. Plattor placerade utanpå den läckande fogen.
2. Diktade fogar.
3. Injektering.
4. Borrhål borrar utmed fogens längd och fylls ut med någon form av fyllnadsmaterial.

I det enskilda fallet beror metodvalet på faktorer som fogvidd, rörelsegrad, verkande hydrauliskt tryck och vattenflödet genom fogen, miljö, typ av konstruktion, ekonomi, tillgänglig tid för utförande och möjlighet till att komma åt uppströmssidan.

Plattor

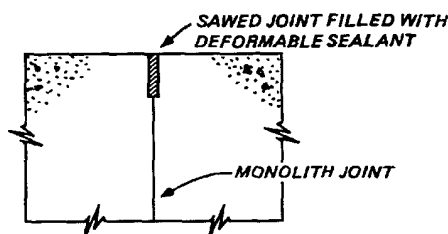
En platta, i allmänhet rostfritt stål, kan användas för att täck över fogen. Plattan kan förankras mot konstruktionsbetongen via bultar på ena sidan av fogen (Figur 15-4a) eller, om plattan har ett dilationsmaterial, via bultar på bägge sidor om fogen (Figur 15-4b). Reparationen är enkel att utföra och speciellt lämplig då reparationsområdet är lätt att komma åt. Metoden är inte lämplig när stora rörelser i konstruktionen kan förväntas.



Figur 15-4. Två exempel på utförande av tätande plattor över läckande konstruktionsfogar.

Diktade fogar

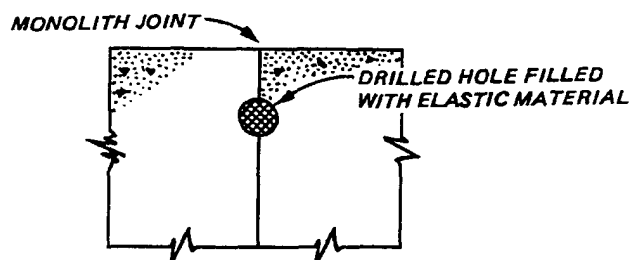
En enkel och billig metod som innebär att ett spår sågas upp utmed fogens längd. Urtaget fylls därefter med ett elastiskt förseglingsmaterial (Figur 15-5). Sågningen måste göras så pass bred att den spänner över fogen och ned till ett djup som är minst lika stort som fogens bredd. Metoden är bäst lämpad då reservoarens vattennivå kan sänkas under läget för reparationen. Begränsningar finns vad gäller fogens maximala vidd och storleken på rörelser i konstruktionen.



Figur 15-5. Typutförande av diktad fog.

Borrhål fyllda med elastiskt material

Borrhål som sträcker sig från konstruktionens överyta ned till dess bas borrar utmed de enskilda betongmonoliternas vertikala dilationsfogar (typisk diameter ϕ 3-6 in.). Borrhålet fylls därefter med ett elastiskt material (Figur 15-6). Kravspecifikationen på fyllnadsmaterialet omfattar: god förmåga att undantränga vatten, bibehållen elasticitet under konstruktionens livstid, praktiskt hanterbar i fält, ekonomiskt samt att klara avsedda hydrauliska tryck utan att pressas ut från borrhålet. Metoden används i allmänhet i de fall reparationsarbetet inte kan göras från konstruktionens uppströmssida.



Figur 15-6. Tvärsnitt genom en konstruktionsfog som reparerats med ett borrhål utfyllt med ett elastiskt material.

Injektering med kemiskt baserade injekteringsbruk

Metoden baseras på att ett kemiskt injekteringsbruk pumpas till det skadade området via ett förbindelseborrhål. Injekteringsbruket skall vara lågvisköst, gelatera/härda snabbt, binda mot fuktiga/våta ytor, vara arbetbart under vatten, uppvisa bra elastisk styrka och tolerera förekomst av skräp (t.ex. borrhax). Metoden har framgångsrikt använts för att reparera isolerade områden i anslutning till inre dilationsfogar och därmed förhindra läckage. Injektering har även använts för att försegla ytligt liggande fogar på konstruktionens uppströmssida. En viktig fördel är möjligheten att exakt kunna borra sig fram till de problemutsatta områden som behöver repareras.

REFERENSERREMR-bulletinen:

- a. New technique for waterstop replacement used at Pine Flat dam, 1985, 2/3
- b. Remedial measures to control excessive leakage at Richard B. Russell dam, 1987, 4/1, 4p
- c. Use of fiber-reinforced acrylic polymer modified concrete as repair material at Lock 2, 1987, 4/2, 5p.
- d. Chemical grout used to stop water leakage in control towers and conduits, 1987, 4/3, 4p.
- e. Effective underwater joint sealing at Chief Joseph dam, 1991, 8/2, 4p.
- f. Repair of failed waterstops: an evaluation of products and techniques, 1997, 14/1, 5p.

Tekniska informationsblad:

- g. Case history of monolith joint repairs: lock No. 2, Mississippi River, CS-MR-8.7, 4p.
- h. Case history of dam repair: Remedial waterstops, CS-MR-8.8, 7p.

Tekniska rapporter:

- i. Repair of waterstop failures: case histories, REMR-CS-4, 1986, 240p.
- j. Monolith joint repairs: case histories, REMR-CS-22.

Övrigt

Se även informationsblad 10 och 17.

- ☐ Översyn och övervakning.
- ☐ Speciella reparationstekniker.
- ☐ Injektering.
- ☐ Fallstudier

Reparation av intag och förbindelseledningar: fallstudier och erfarenheter

SYFTE

Kunskapsåterföring i form av dokumenterade reparationsprojekt på vattenkraftsanläggningar har varit en viktig del av REMR-programmets verksamhet. I detta informationsblad ges upplysningar om de delar av materialet som omfattar reparation av intag- och förbindelseledningar. För en detaljerad genomgång hänvisas den intresserade läsaren till respektive artikel.

FALLSTUDIER

Av den genomgång av tillståndsläget av US Corps of Engineers vattenkraftskonstruktioner som WES har gjort (Informationsblad 1) framgår att 29 % av genomförda underhålls- och reparationsarbeten har utförts på intag och förbindelseledningar. Skadebilden dominerades av sprickskador (41 %), följt av läckage (24 %), ytsplittring (14 %), och erosion (8 %). I 21 % av fallen krävdes att skadan kontinuerligt övervakades eller reparerades direkt. Huvudskälet till att reparationer vidtagits var i regel för att åtgärda läckage.

I ett stort antal (43 %) av de reparationer som utförts på intagskonstruktioner rapporterades att åtgärden fungerat sämre än vad som varit önskvärt, varav 29 % misslyckades helt. Siffrorna var likartade för de reparationer som utförts på förbindelseledningar. En sammanställning av ett antal reparationsprojekt listas nedan. Detaljerna återfinns i referens b.

1. Applegate Dam, Oregon (1980).

Skadorna på inträffade på konstruktionsfogarnas fogband. En sammanfattning av reparationsarbetet finns i informationsblad 17.

2. Arkubutla Dam, Mississippi (1943).

Problem med läckage uppstod till följd av att det saknades fogband i vissa av fogarna på en rörkonstruktion bestående av 13 äggformade betongelement. Problem med förlust av fundamentmaterial och sättningar kvarstod även efter att injektering genomförts 1950 (portlandcement/bentonit). En ny injektering av fogarna genomfördes 1970 (portlandcement/bentonit/flygaska). Resultatet omedelbart efter reparationen var bra. Läckagen tilltog dock snart i omfattning igen och föranledde ännu en injektering 1977. Olika bandningar av injekteringsbruket (portlandcement) användes beroende på skadans geometri (4:1 vid små sprickor med små läckage; 3:1 vid något större sprickor; och 1:1 vid större hål). Bentonit tillsattes för att hjälpa till att hålla cementpartiklarna i suspension, och för att minska krympning vid härdning. De läckage som återstod efter slutförd injektering var mycket små. Vid inspektioner 1978, 1978 och 1984 hittades mindre läckage, dock inte så pass allvarliga att de föranledde ytterligare reparationer.

3. Barren River Lake Dam, Kentucky (1964).

Vid en inspektion 1985 noterades läckage på två nivåer i en brunn vid en av anläggningens överströmningsventiler. I båda fallen var orsaken delvis urlakad betong utan visuellt synliga sprickor (hål $\varnothing=13$ cm; djup 10-15 cm). Läckagen reparerades samma år med ett kemiskt injekteringsbruk (hydrofob polyuretanvätska som expanderar vid kontakt med vatten). Det skadade betongpartiet borrades bort vilket gav ett hål som var större än injekteringsutrustningen var konstruerad för. Injekteringsarbetet blev problematiskt eftersom ett tillräckligt bra mothåll saknades. Förnyad injektering utfördes 1986 (samma koncept) och denna gång blev reparationsresultatet lyckat, d.v.s. inget läckage kvarstod efteråt.

4. Beltzville Dam, Pennsylvanien (1972).

Strax efter att dammen färdigställdes upptäcktes ett mindre läckage på intagstornets insida (horisontella konstruktionsfogar) och vattnet från läckaget kom att ansamlas i anslutning till delar av elsystemets draging. Problemen förvärrades under de följande åren genom ett flertal mindre läckage, omfattande kalkutfällningar och korrosion på ingjutna förbindelseplåtar. Omfattningen medförde till slut att konstruktionens förmåga att fungera som avsett var hotad genom brister i elsystemets funktion och tillförlitlighet samt omfattande korrosion i maskineri och tillhörande kringutrustning. I en undersökning 1984 fastslogs att alkali-silikareaktioner ensamt eller nästintill ensamt hade orsakat sprickskadorna. Under perioden fram till 1984 genomfördes testreparationer vid fem tillfällen. Resultaten sammanfattas i Tabell 16-1.

Tabell 16-1. Utfallet av fem olika reparationsmetoder för att koma till rätta med omfattande läckage genom betongen i ett intagstorn på Beltzville Dam.

ÅR	REPARATION	MATERIAL	UTFALL
1977	Ytbehandlingstest (intagstornets insida).	Vandex.	Ej tillräckligt bra för att motivera större insats.
1980	Injektering av fogar och sprickor.	Concresive 1380 (tvåkomponent lågvisköst adhesiv).	Ej tillräckligt bra för att motivera större insats.
1983	Ytbehandlingstest.	Vibraspray S-80 (30 mm skikt av ett tvåkomponent polyuretanmembran).	Noterbar minskning av läckagen.
1984	Injektering.	TACSS-020 NF (polyuretanbaserat kemiskt injekteringsbruk).	Ekonomiskt oacceptabel metod (tidskrävande).
1984	Injektering.	Sikadur 52 Injektion Resin (lågvisköst epoxibaserad tvåkomponentharts).	Noterbar minskning av läckagen. Ej tillräckligt bra för att motivera en större insats.

5. Blakely Mountain Dam, Arkansas (1955).

Skador i form av läckage genom fogar, sprickor och genomförningar uppstod tidigt på anläggningens tunnel för flödeskontroll. Reparationer i form av cementinjektering genomfördes 1956 och drevning 1970. Vid en inspektion 1976 fann man betydande läckage genom ett antal monolitfogar. Läckagen (38, 7,6 respektive 11,3 l/min) reparerades 1978 med cementinjektering (portlandcement: 0,9 kg bentonit per 43 kg cement). Injekteringen påbörjades med ett lättflytande cementbruk (4:1 eller 3:1) vilket ändrades till ett mer tjockflytande i de fall som detta var möjligt.

Injekteringen resulterade i regel i att injekteringsbruk trängde ut genom intilliggande konstruktionsfogar. Som exempel kan nämnas att den totala åtgången av injekteringsbruk för en av de läckande monolitfogarna var 1,5 ton. Av inspektionen som följde på reparationsarbetet framgick att samtliga injekteringar hade lyckats stoppa respektive läckage.

Sex år senare, 1986, åtgärdades nya läckage genom två av de fogar som reparerades 1978 samt ytterligare läckage genom sex andra konstruktionsfogar och genom tre sprickor. Injektering genomfördes denna gång med två kemiskt baserade injekteringsmedel: TACSS-020 NF (vid kontakt med vatten bildas ett polystyrenliknande skum) och Flex 44 (vid kontakt med vatten bildas ett flexibelt material som liknar de material som används vid försegling av rörelsefogar). Materialen användes både var för sig och i blandning.

Efter avslutade reparationer konstaterades att det totala läckaget hade minskat med 75%.

6. Buckhorn Lake Dam, Kentucky (1960).

1962 rapporterades läckage genom en konstruktionsfog mellan två betongmonoliter på huvudrörledning. Omfattningen ökade gradvis och med start 1980 påbörjades en kontinuerlig övervakning av skadans fortsatta utveckling. 1981 försökte stationspersonalen att reparera skadan med snabbhärdande cement, vilket dock misslyckades genom att läckaget var så pass omfattande (19 l/min) att cementet spolades bort innan det hann hårdna. Läckaget fortsatte att öka ytterligare och 1986 nåddes toppvärden om 57-76 l/min. Vid reparationen detta år valdes, liksom i exempel 4 och 5, det kemiska injekteringsmedlet TACSS-020 NF. Slutresultatet blev lyckat; vid inspektion efter 2 dagars normal drift fanns inga läckage kvar.

7. Cave Run Dam, Kentucky (1974).

Vid inspektion 1980 upptäcktes erosionsskador på betongytor på två av konstruktionens kanaler och vid övergången till utskovet. Betongen i kanalerna hade kavitationsskador och utskovsövergången nötningskador.

Ett försök till att reparera kavitationsskadorna på en av kanalerna gjordes 1982. Man använde sig då av materialet SikaTop 122, ett tvåkomponent akrylbaserat torrbruk. Reparationsarbetet avbröts dock då det visade sig att materialet inte var i stånd att hårdna (trolig anledning var att ett alltför gammalt material hade levererats).

Ett nytt reparationsförsök genomfördes 1983. Denna gång användes SikaTop 123, vilket har en tjockare konsistens än SikaTop 122 och därför är mer lämpat för vertikala ytor, och ett snabbhärdande cementet (Preco Plug). De två reparationsmaterialen testades var för sig på kanalerna med kavitationsskador. I båda fallen rengjordes betongytorna med hjälp av borstning. Efteråt konstaterades att SikaTop hade flera nackdelar gentemot Preco plug: det hårdnade långsammare, bruket späddes lätt ut i vatten, det förekom avgång av ohälsosamma ångor och det fanns svårigheter att i fält följa det föreskrivna receptet vid blandningen (noggrann proportionering krävdes).

Vid en inspektion 1985 visade sig lagningarna ha klarat sig bra (det fanns viss nedbrytning av mindre omfattning). Vid tillfället hade dock strömningsförhållandena ännu inte varit så påfrestande som de tillfällen då skadorna åstadkommits.

8. Eau Galle Dam, Wisconsin (1968).

Vid den första inspektionen som genomfördes på dammen 1968 avslöjades aktiva horisontella sprickbildningar i konstruktionens hästskoformade utlopp. 1978 konstaterades att skadorna hade ökat ytterligare i omfattning. En genomgång av de laster som konstruktionen utsattes för visade att dessa skilde sig väsentligt från vad som varit avsett då dammen konstruerades. De hindrande horisontella lasterna var mindre än avsett vilket i sin tur minskade den lastbärande kapaciteten över det skadade partiet på utloppet.

En testreparation genomfördes med ett kemiskt injekteringsmedel under vintern 1979-80 (Concessive 1380, ett lågvisköst tvåkomponents bindemedel baserat på epoxyharts). Injekteringen utfördes enligt en procedur kallad "*Structural Concrete Bonding, SCB*", varvid:

1. lös betong avlägsnas;
2. ytor med sprickor rengjöks och sprickor förseglas;
3. injekteringshål borras i sprickorna;
4. injekteringsrör installeras;
5. manschetter installeras;
6. injektering genomförs i steg; och
7. manschetterna avlägsnas efter avslutad injektering och injekteringsrören förseglas (efter det att hartsen hårdnat).

Vid arbetet hade man problem med att få ut injekteringsmedlet i sprickorna, vilket antogs bero på att den låga temperaturen ($\approx 2^\circ\text{C}$) ökade medlets viskositet. Reparationen följdes upp med kärnprovtagning där det klart framgick att inträngningen varit otillräcklig. Man beslutade därför att inte gå vidare med metoden.

Den strukturella integriteten återställdes under 1981 genom att den skadade utloppskonstruktionen byggdes om med bärande stålbalkar och ny betong. Arbetet föregicks av injektering av de mest skadade partierna (typ III portlandcement + tillsats av aluminiumpulver som expansionsmedel). Vid utgången av 1985 hade reparationen fungerat bra (inga högvattennivåer hade dock inträffat under perioden fram till 1985).

DISKUSSION

Fallstudier

I REMR-programmets genomgång av reparationer på intag och förbindelseledningar framgår det att läckage genom sprickor och konstruktionsfogar utgör den vanligaste orsaken till reparationsbehov. De metoder som har använts för att stoppa läckage genom sprickor är cement- eller kemiskt baserade injekteringsbruk och ytbehandlingar (se även Informationsblad 10). Vid reparation av läckage genom konstruktionsfogar används i regel endast injektering med cement- eller kemiskt baserade injekteringsbruk. Sammanfattningsvis så visar resultaten från genomgången att:

- De reparationer som involverat injektering med cementbaserade injekteringsbruk har krävt återkommande injekteringar för att bibehålla läckagen på en godtagbar låg nivå.
- Epoxiinjektering för att stoppa läckage genom sprickor har rapporterats vara ej lyckade eller ej helt lyckade.
- Ytbehandlingar för att stoppa läckage genom sprickor har rapporterats vara ej helt lyckade. Föga förvånande rapporteras bäst resultat från de exempel där behandlingen utförts på den sida av konstruktionen som står i kontakt med vatten.

Den vanligaste typen av skada efter läckage orsakas av erosion på förbindelseleder i anslutning till luckor. Det material som givit bäst resultat är en polymer legering som innehåller magna-kvarts, Belzona Magna Quartz (finns inte med i exemplen ovan). Eftersom materialet är dyrt och dåligt utvärderat kan det i vissa fall vara bättre att istället genomföra återkommande reparationer av de ytor som är utsatta med ett billigt lagningsbruk.

Planering

För att kunna välja en bra reparationsmetod så är det viktigt att skadeorsaken kan fastställas. Ett antal överväganden behöver göras: a) kvartår skadeorsaken och kan den i så fall elimineras?, och b) om den kvarstår och ej kan elimineras, vilken är dess mekanism och vad kan göras för att minska dess verkan på reparationen.

Då en reparation planeras är det viktigt se till att förhållandena vid själva reparationstillfället är de rätta, t.ex. lämplig temperatur och fukthalt, avledning av vatten (både normalt förekommande och läckage), borttagning av föroreningar och borttagning av skadad betong i tillräcklig omfattning så att god vidhäftning kan erhållas mellan frisk betong och reparationsmaterialet. Det är också viktigt att inte underlåta att göra "småsaker" som kan ha stor betydelse för reparationens resultat, t.ex. genom att säkerställa att tillräckligt många injekteringshål borras och att sprickornas öppningar förseglas så att förlusterna genom injekteringsplanet kan hålla små. Den typen av åtgärder förlänger tidsperioden för vilket reparationsmaterialet är i kontakt med det inre hos det skadade partiet och förbättrar därmed chansen till att reparationsmaterialet hårdnar innan det kommer ut igen.

Då tillfälle ges skall experiment med utvalda reparationsmaterial genomföras på testsektioner så att eventuella problem kan identifieras och att reparationens prestanda kan utvärderas. Detta tar extra tid i anspråk och ger inledningsvis en högre reparationskostnad men ger i regel senare besparingar genom att ett bättre reparationsresultat uppnås.

Man bör eftersträva att identifiera tänkbara orsaker till problem som kan leda till att reparationsresultatet blir dåligt och att eliminera dessa. Ett exempel:

Då en partiell injektering av sprickor och konstruktionsfogar utförs från nerströmssidan så kommer partier med ofullständig komprimerad betong nära uppströmssidan att utsättas för en magasinsrelaterad varierande hydrauliskt tryckpåkänning. Sådana variationer kan medföra att en tryckvåg fortplantas i dåligt konsoliderat material. Om tryckvågens frekvens och storlek är kritisk kan spänningsspåkänningarna medföra att reparerade sprickor åter öppnas eller att ett nytt brott utbildas i den friska betongen (beroende på vad som är svagast). En injektering som innefattar hela konstruktionens tjocklek tvingar ut inneslutet vatten ur konstruktionen och risken för att denna typ av oönskade spänningsspåkänningar skall uppstå elimineras.

Det finns situationer där ett bra reparationsresultat inte kan vidmakthållas. Man får då ta till provisoriska lösningar, t.ex. genom göra olika typer av förseglingar i betongkonstruktioner där det finns potentiell risk för alkali-silikareaktioner.

REFERENSER

REMR-bulletinen:

- a. Rehabilitation of Crow Dam gate tower, 1989, 6/2, 4p.

Tekniska rapporter:

- b. Repair of dam intake structures and conduits: case histories, REMR-CS-16, 1988, 100p.

Övrigt

Se även Informationsblad 10 och 16.

Bilaga 2. REMR-Bulletinen

Lista över publicerade artiklar 1984-1997

I listan markerar ☒ att tidskriften finns tillgänglig genom Betongtekniks referensbibliotek i Älvkarlebylaboratoriet. Markeringen ☐ betyder att tidskriften måste beställas från USA. Artiklarna för årgångarna 1996-1997 finns tillgängliga på Internet (<http://www.wes.army.mil/REMR/bulls/articles.html>).

1984

- ☐ Vol. 1, No. 1, January
 - The REMR research program.
- ☐ Vol. 1, No. 2, April
 - Mobile district hosts third field review group meeting.
- ☐ Vol. 1, No. 3, July
 - Acrylic latex concrete repair, by Rosemarie Braatz.
 - Seattle district testing novel approach to reducing spillway leakage at Chief Joseph dam, by Paul Johnson.
- ☐ Vol. 1, No. 4, October
 - Memphis district turn riverward for levee rehabilitation, by Joseph Keithley, Jr., and Paul Miller.
 - CAGE project can aid data gathering and analysis for geotechnical applications, by Wipawi Vanadit-Ellis.
 - Construction of soil-cement columns by jet-injection grouting, by Max Gibbs, Paul Pettit, and Georgio Guatteri.
- ☐ Vol. 2, No. 2, June
 - French drilling machine shows advantages in excavating for concrete cutoff wall, by Charles Hess.
 - Geophysical methods applied to detect and map seepage paths at Clearwater Dam, by Dwain Butler.
- ☐ Vol. 2, No. 3, September
 - New technique for waterstop replacement used at Pine Flat dam, by Debra Tanis.
 - Performance of repairs to stop leakage in intake structures, by James McKenzie and Roy Campbell.

1986

1985

- ☐ Vol. 2, No. 1, March
 - Mining tool adapted to concrete removal for lock wall rehabilitation project, by Warren Parr.
 - Corps-BuRec effort results in high-resolution acoustic mapping system, by Henry Thornton.
- ☐ Vol. 3, No. 1, April
 - Current methods for repairing scoured areas downstream from stilling basins, by John Hite, Jr.
 - Research under way on problems with estuarine and deep draft navigation channel training structures, by Robert Athow, Jr., and Michael Trawle.
- ☐ Vol. 3, No. 2, September
 - Floating debris control systems for hydroelectric plant intakes, by Roscoe Perham.
 - Protection of lock gates from vessel impact, by Sandra McKay.
- ☐ Vol. 3, No. 3, December
 - Results from TVA testing of grouting systems for concrete anchors, by James McDonald.

- Precast panels speed rehabilitation of Placer Creek Channel, by Kathy Hacker.

1987

☒ Vol. 4, No. 1, July

- Precast concrete stay-in-place forming system for lock wall rehabilitation, by James McDonald.
- Remedial measures to control excessive leakage at Richard B. Russell dam, by Gary Close and John Hager.

☒ Vol. 4, No. 2, October

- Anti-washout admixtures for use in underwater concrete placement, by Kenneth Saucier and Billy Neeley.
- Use of fiber-reinforced acrylic polymer modified concrete as repair material at Lock 2, by Michael Dahlquist.

☒ Vol. 4, No. 3, November,

- Nondestructive testing of foundation at Lock No. 2, Mississippi River, by Michael Dahlquist.
- Chemical grout used to stop water leakage in control towers and conduits, by Rick Lewis and Larry Brockman.
- Chemical and asphaltic grouts for sealing coastal structures to sand infiltration and wave transmission, by David Simpson.

☒ Vol. 4, No. 4, December

- Concrete rehabilitation at Lock and Dam No. 20, Mississippi River, by Jerry Wickersham.
- Epoxy repair of cracked wooden roof trusses, by MAJ Sean Wachutka.
- Stabilized channel maintenance and aquatic habitat, by Douglas Shields, Jr.

1988

☒ Vol. 5, No. 1, March

- Spillway rehabilitation at Grapevine Lake Fort Worth district, by Ronald Turner.
- Ultrasonic pulse-echo measurements of the concrete sea wall at Marina Del Rey Los Angeles County, California, by Henry Thornton and Michel Alexander.
- Impacts of stilling basin dewaterings, by Marc Zimmerman.

☒ Vol. 5, No. 2, July

- Evaluation of vinylester resin for anchor embedment in concrete, by Jim McDonald.
- Floating debris boom evaluation program summary, by Roscoe E. Perham.
- Comparison of Corps of Engineers' and US Bureau of Reclamation's methods for calculating uplift pressures, by Carl Pace.

☒ Vol. 5, No. 3, September

- Use of new well redevelopment techniques on relief wells in Upper Wood River drainage and Levee district, by Joseph A. Kissane.
- Determination of relief well infestation with the use of bacterial activity test (BAT) kit, by Roy Leach.
- Jetty repair projects: potential beneficial impacts, by Douglas G. Clarke.

1989

☒ Vol. 6, No. 1, February

- Performance of polyester resin grout rockbolts installed under wet conditions, by Tim Avery.
- Deposition of calcium carbonate in foundation drain holes, by Andrew Schaffer.
- Effects of a stearic acid based admixture on water repellency of concrete, by Kim Titus.

- ☒ Vol. 6, No. 2, May
 - In situ repair of deteriorated concrete, by James E. McDonald.
 - Rehabilitation of Crow Dam gate tower, by Robert V. Todd.
- ☒ Vol. 6, No. 3, July
 - Innovative products and procedures used on Chateau Island levee relocation, by Tamara L. Atchley.
 - Cutoff wall construction to upgrade Mud Mountain dam, by K. D. Graybeal.
 - A Review of flume investigation of a composite, erosion resistant material, by Jerry Lee Anderson and Robert F. Athow.
- ☒ Vol. 6, No. 4, October
 - Rehabilitation of Peoria lock using preplaced aggregate concrete, by George J. Mech.
 - The repair of large concrete structures by epoxy resin bonding, by Dr. Donald A. Bruce.
 - Surface treatments for concrete, by Tony B. Husbands and Fred E. Causey.
- ☒ Vol. 6, No. 5, December
 - Diamond wire cutting used on concrete at Marseilles dam, by Michael W. Edwards.
 - Evaluation of water jet blasting for removal of concrete from lock chamber faces, by Roy L. Campbell, Sr.
 - Mechanical presplitting technique used in removal of concrete from chamber face at Dashields lock, by Doug Meley.
- A practical application of a low-berm revetment, by Heidi Pfeiffer and John P. Ahrens.
- ☒ Vol. 7, No. 2, July
 - Underwater - quick set and cement grouting, an innovative method to rehabilitate Milwaukee Harbor breakwater, by Ronald L. Erickson, William A. Rito, and Thomas A. Deja.
 - Lime-fly ash slurry pressure injection of clay soils for levee stabilization, by Dennis Abernathy and Melton J. Stegall.
- ☒ Vol. 7, No. 3, September
 - Tainter gate hoist chain replacement to improve operations and maintenance of Lock and Dam No. 20, by James W. Bartek.
 - Anchor embedment in hardened concrete under submerged conditions, by James E. McDonald.
 - Use of plastic concrete to construct cutoff walls for earth dams, by Edward B. Perry.
- ☒ Vol. 7, No. 4, December
 - Nondestructive testing of concrete with ultrasonic pulse-echo, by A. Michel Alexander.
 - Corps computer program helps select concrete and steel repair materials, by Elke Briuer.

1991

1990

- ☒ Vol. 7, No. 1, January
 - Culvert repair at Enid Lake, Mississippi, by Elke Briuer.
 - Continuous deformation surveillance of large structures possible with new monitoring system, by Carl A. Lanigan.
- ☐ Vol. 8, No. 1, February
 - Automating maintenance and repair - the REMR management systems of civil works structures, by Anthony M. Kao.
 - Preparation, application, and inspection of coatings for Concrete, by Stephen G. Pinney.
- ☒ Vol. 8, No. 2, April
 - Hammondsport flume: a case history in rehabilitation and repair, by Russell E. Wege.

- Effective underwater joint sealing at Chief Joseph dam, by Kenneth B. Sondergard.

☒ Vol. 8, No. 3, August

- Zinc backing material expected to extend service life of Bankhead Miter gates, by Elke Briuer.
- Coastal structure acoustic raster scanner (CSARS) system for underwater inspection, by Jonathan Lott.
- The potential for cracking of silica-fume concrete, by James E. McDonald.

☒ Vol. 8, No. 4, December

- Underwater repair of concrete based on REMR technical information, by Bruce Harris, James Palma, and Donald Miller.
- Acoustic emissions survey to map seepage patterns under a navigation lock, by James Warriner.
- Performance of microprocessor-based reinforcing steel detector for concrete structures, by A. Michel Alexander and Willie E. McDonald.

1992

☒ Vol. 9, No. 1, March 1992

- REMR management systems training for US Army Corps of Engineers personnel, by David T. McKay.
- Spillway remediation of Saylorville Lake, by Keith Hass, Glen Hotchkiss, and George Mech.
- Epoxy injection of pier stems of Mississippi River Dam No. 20, by George Mech and Jerry Wickersham.

☒ Vol. 9, No. 2, June

- If the primer is orange, it is probably red lead, by Alfred D. Beitelman.
- Chemical grouting of a concrete dam, by W. James Marold, Casey M. Koniarski, and Michael P. Bruen.
- The Nation's Aging Coastal Infrastructure, by Joan Pope.

☒ Vol. 9, No. 3, September

- Shoreline erosion control on Harvel Lake in Germany, by Hollis H. Allen
- Investigating high-solids and 100-percent-solids coating, by Alfred D. Beitelman and John S. Baker.
- Use of synthetic oils for enclosed gear cases, by O.S. Marshall, Jr.

☒ Vol. 9, No. 4, December

- Flow model for evaluation and maintenance of high-velocity channels, by Richard L. Stockstill and R.C. Berger.
- Icing problems at corps projects, by F. Donald Haynes, Leonard Zabilansky, and Robert Haehnel.

1993

☒ Vol. 10, No. 1, March

- REMR-designed stay-in-place concrete forming system used for concrete repair at Troy Lock and dam, by William Petronis and Alan Ellinwood, 6p.
- Microtunneling tests at Waterways experiment station, by Robert D. Bennett, D. T. Iseley, and Perry A. Taylor.
- Rehabilitation of permeable breakwaters and jetties by void sealing, Port Everglades, Florida, South Jetty, by Lyndell Z. Hales.

☒ Vol. 10, No. 2, June

- Use of a current deflector wall for eddy-generated shoaling in Kohl fleet Harbor, Germany, by Michael P. Alexander.
- Coastal structure inspection in wake of hurricane Iniki, by Jeffrey A. Melby and George F. Turk.
- Geomechanical modeling of concrete gravity structures: the physical model plan, by Ronald B. Meade and Robert D. Bennett.

☒ Vol. 10, No. 3, September

- Innovative methods for levee repair, by Edward B. Perry and Milton Myers.

- Use of blended chemical heat treatment (BCHT) procedure to clean contaminated wells on superfund sites, Bill Rogers and Roy Leach.
- Use of ground-penetrating radar in nondestructive testing for voids and cracks in concrete, Falih H. Ahmad and Richard Haskins.

☒ Vol. 10, No. 4, December

- Geomembranes for repair of concrete hydraulic structures, by James E. McDonald.
- Toe stability in a combined wave and flow environment, by Ernest R. Smith.
- Heated water jet for melting ice, by F. Donald Haynes.

1994

☒ Vol. 11, No. 1, April

- Guides help standardize lead paint removal, by Alfred D. Beitelman.
- Metallized coatings for repair and maintenance of hydraulic structures, by Tim Race.
- Panel heaters used to control ice growth caused by fluctuating water levels, by F. Donald Haynes, Robert Haehnel, and Leonard Zabilansky.
- Panel wall heaters successful at Starved Rock Lock and dam, Illinois River, by F. Donald Haynes.

☒ Vol. 11, No. 2, July

- Increasing efficiency in a sandbagging operation, by George F. Turk and Paul F. Hadala.
- STREMR: model for evaluation of near-field turbulent flow conditions, by Michael L. Schneider and Robert S. Bernard.
- Surveys of concrete armored coastal structures, by Jeffrey A. Melby and George F. Turk.

☒ Vol. 11, No. 3, October

- Performance of relief wells during the great flood of 1993, by Joseph A. Kissance.

- Centrifuge testing of 1/20-scale landside lock wall model, by Ron Meade.

1995

☒ Vol. 12, No. 1, January

- Core-Loc™: a major development in concrete armor, by George F. Turk and Jeffrey A. Melby.
- Restoration of west Facade of U.S. capitol: Case Study, by Edward F. O'Neil.

☒ Vol. 12, No. 2, May 1995

- Use of radiant heaters to prevent icing, by F. Donald Haynes, Robert Haehnel, and Charles H. Clark.
- Air-bubbler systems and high-density polyethylene sheets alleviate icing at locks and dams, by F. Donald Haynes, Robert Haehnel, and Leonard Zabilansky.
- REMR bibliography database, by Roy L. Campbell, Sr.

☒ Vol. 12, No. 3, October

- Precast concrete panels used to rehabilitate Allegheny River Lock and Dam No. 4, by Carmen Rozzi.
- Heaters for alleviating icing on tainter gates, by F. Donald Haynes.

1996

☒ Vol. 13, No. 1, February

- Uplift pressures resulting from flow along tapered rock joints, by Robert M. Ebeling and Michael E. Pace.
- Variation in uplift pressures with changes in loading along a single rock joint below a gravity dam, by Robert M. Ebeling and Michael E. Pace.
- Stability of existing concrete structures, by Robert M. Ebeling, Ernest E. Morrison, and Reed L. Mosher.
- Flow-net-computed uplift pressures along concrete monolith/rock foundation interface, by Robert M. Ebeling and Michael Pace.

- Vol. 13, No. 2, May
- Environmentally friendly lubricants, by Alfred D. Beitelman.
- Seismic strengthening of hotel Oakland revisited: Case Study, by Edward F. O'Neil.

- ☒ Vol. 13, No. 3, September
- Rehabilitation of concrete structure and steel sector gates at the Court Street dam in Rochester, New York, by William R. Miles.
- Impacts of volatile organic compound (VOC) regulations and acquisition reform on civil works painting, by Tim Race.
- Positive note sets tone for REMR-II research program review.
- Changes in REMR key personnel.

1997

- ☒ Vol. 14, No. 1, February
- Development of a geomembrane system for underwater repair of concrete structures, by James E. McDonald.
- Repair of failed waterstops: an evaluation of products and techniques, by Roy L. Campbell, Sr.
- Annual REMR-II field review group meeting scheduled for June.

- ☒ Vol. 14, No. 2, August
- Underwater inspection of coastal structures, by Terri Prickett.
- REMR research program approaches final year.
- Effectiveness of selected grout systems for embedment of anchors into hardened concrete under wet and dry conditions, by Willie E. McDonald.

- ☒ Vol. 14, No. 3, December
- Dynamic structural response of Core-Loc, by George F. Turk and Jeffrey A. Melby.
- Melting ice with space heaters, by Robert B. Haehnel, F. Donald Haynes, and Charles H. Clark.

1998

- ☒ Vol. 15, No. 1, June
 - Repointing masonry in older buildings, by Edward F. O'Neil.
 - REMR management system for earth and rock-fill embankment dams, by Stuart Foltz and Victor Torrey.
 - USACERL offers support for REMR condition index inspection, by Dave McKay.
 - High performance materials and systems research program.
-

Bilaga 3 REMR tekniska rapporter

Lista över årgångarna 1984-1997

REMRs tekniska rapporter dokumenterar de forskningsresultat som erhållits inom de sex problemområdena. Varje rapport inkluderar en redogörelse för syfte och begränsningar för undersökningen, en beskrivning av metod, utvärdering av testresultat, samt en sammanfattning och rekommendationer.

I listan markerar ☒ att rapporten finns tillgänglig genom Betongtekniks referensbibliotek i Älvkarlebylaboratoriet. Markeringen ☐ betyder att rapporten måste beställas från USA.

Område kustnära tillämpningar

- ☐ REMR-CO-1. *Stability of rubble-mound breakwater and jetty toes; survey of field experience*, by D. G. Markle (AD-A180 108).
- ☐ REMR-CO-2. *Prototype experience with the use of dissimilar armor for repair and rehabilitation of rubble-mound coastal structures*, by R. D. Carver (AD-A204 081).
- ☐ REMR-CO-3. *Case histories of corps breakwater and jetty structures:*
 - Report 1: *South Pacific division*, by R. R. Bottin, Jr. (AD-A192 294).
 - Report 2: *South Atlantic division*, by F. E. Sargent (AD-A200 458).
 - Report 3: *North Central division*, by R. R. Bottin, Jr. (AD-A198 436).
 - Report 4: *Pacific Ocean division*, by F. E. Sargent, D. G. Markle, and P. J. Grace (AD-A199 879).
 - Report 5: *North Atlantic division*, by E. R. Smith (AD-A207 146).
 - Report 6: *North Pacific division*, by D. L. Ward (AD-A203 865).
 - Report 7: *New England division*, by F. E. Sargent and R. R. Bottin, Jr. (AD-A204 082).
 - Report 8: *Lower Mississippi Valley division*, by F. E. Sargent and R. R. Bottin, Jr. (AD-A204 083).
 - Report 9: *Southwestern Division*, by F. E. Sargent and R. R. Bottin, Jr.
- ☐ REMR-CO-4. *Stability of dolos and tribar overlays for rehabilitation of stone-armored rubble-mound breakwater and jetty trunks subjected to breaking waves*, by R. D. Carver and B. J. Wright (AD-A192 487).
- ☐ REMR-CO-5. *Stability of dolos overlays for rehabilitation of dolos-armored rubble-mound breakwater and jetty trunks subjected to breaking waves*, by R. D. Carver and B. J. Wright (AD-A195 392).
- ☐ REMR-CO-6. *Stability of dolos overlays for rehabilitation of tribar-armored rubble-mound breakwater and jetty trunks subjected to breaking waves*, by R. D. Carver and B. J. Wright (AD-A198 877).
- ☐ REMR-CO-7. *Methods to reduce wave runup and overtopping of existing structures*, by J. P. Ahrens (AD-A200 455).
- ☐ REMR-CO-8. *State-of-the-art procedures for sealing coastal structures with grouts and concretes*, by D. P. Simpson, (AD-A208 884).
- ☐ REMR-CO-9. *Stability of dolos overlays for rehabilitation of stone-armored rubble-mound breakwater heads subjected to breaking waves*, by R. D. Carver (AD-A208 577).

Bilaga 3: Lista över REMR Tekniska Rapporter

- REMR-CO-10. *Study of breakwaters constructed with one layer of armor stone, Detroit district*, by J. R. Wolf (AD-A212 631).
- REMR-CO-11. *Underwater inspection of coastal structures using commercially available sonars*, by W. M. Kucharsky and J. E. Clausner (AD-A224 169).
- REMR-CO-12. *Stability of toe berm armor stone and toe buttressing stone on rubble-mound breakwaters and jetties; physical model investigation*, by D. G. Markle (AD-A213 589).
- REMR-CO-13. *Laboratory techniques for evaluating effectiveness of sealing voids in rubble-mound breakwaters and jetties with grouts and concretes*, by D. P. Simpson and J. L. Thomas (AD-A220 178).
- REMR-CO-14. *Repair of localized armor stone damage on rubble-mound structures; coastal model investigation*, by D. L. Ward and D. G. Markle (AD-A227 014).
- REMR-CO-15. *Field evaluation of Port Everglades, Florida, rehabilitation of south jetty by void sealing*, by J. D. Rosati and T. A. Denes (AD-A229 176).
- REMR-CO-16. *Rehabilitation of permeable breakwaters and jetties by void sealing: summary report*, by D. P. Simpson, J. D. Rosati, L. Z. Hales, T. A. Denes, and J. L. Thomas (AD-A229 927).
- REMR-CO-17. *Use of a rubble berm for reducing runup, overtopping, and damage on a 1V to 2H riprap Slope*, by D. L. Ward and J. P. Ahrens (AD-A266 377):

Område betong och stål

- ☒ REMR-CS-1. *Engineering condition survey of concrete in service*, by R. L. Stowe, and H. T. Thornton, Jr. (AD-A 148 893). 1984, 93 p.
- ☒ REMR-CS-2. *The condition of Corps of Engineers civil works concrete structures*, by J. E. McDonald and R. L. Campbell, Sr. (AD-A 157 992), 1985, 63 p.
- ☒ REMR-CS-3. *Latex admixtures for Portland cement concrete and mortar*, by D. L. Bean and T. B. Husbands (AD-A 171 352).
- ☒ REMR-CS-4. *Repair of waterstop failures: case histories*, by J. E. McDonald (AD-A 176 937). 1986, 240p.
- REMR-CS-5. *Instrumentation automation for concrete structures:*
 - Report 1: *Instrumentation automation techniques*, by J. Lindsey, D. Edwards, A. Keeter, T. Payne, and R. Malloy (AD-A 178 139).
 - Report 2: *Automation hardware and retrofitting techniques*, by Aubrey Keeter, Byron Stonecypher, T. Payne, M. Skerl, J. Burton, and J. Jennings (AD-A 192 753).
 - Report 3: *Available data collection and reduction software*, by B. Currier and M. H. Fenn (AD-A 192 094).
 - Report 4: *Demonstration of instrumentation automation techniques at Beaver dam, Eureka Springs, Arkansas*, by E. F. O'Neil (AD-A 208 571).
- ☒ REMR-CS-6. *In situ repair of deteriorated concrete in hydraulic structures: feasibility studies*, by R. P. Webster and L. E. Kukacka (AD-A 182 297), 1987, 80p.
- ☒ REMR-CS-7. *Design of a precast concrete stay-in-place forming system for lock wall rehabilitation*, by ABAM Engineers, Inc. (AD-A 185 081), 1987, 41p.

Bilaga 3: Lista över REMR Tekniska Rapporter

- ☒ REMR-CS-8. *Procedures and devices for underwater cleaning of civil works structures*, by C. A. Keeney (AD-A 188 814), 1987, 46p.
- ☒ REMR-CS-9. *Inspection of the engineering condition of underwater concrete structures*, by S. Popovics and W. E. McDonald (AD-A 208 295), 1989, 65p.
- ☒ REMR-CS-10. *Development of nondestructive testing systems for in situ evaluation of concrete structures*, by H. T. Thornton, Jr., and A. M. Alexander (AD-A 191 312), 1987, 111p.
- ☒ REMR-CS-11. *In situ repair of deteriorated concrete in hydraulic structures: laboratory study*, by R. P. Webster and L. E. Kukacka (AD-A 190 303), 1988, 31p.
- ☒ REMR-CS-12. *Factors related to the performance of concrete repair materials*, by L. I. Knab (AD-A 192 818), 1988, 54p.
- ☒ REMR-CS-13. *Rehabilitation of navigation lock walls: case histories*, by J. E. McDonald (AD-A 192 202), 1987, 288p.
- ☒ REMR-CS-14. *A demonstration of the constructibility of a precast concrete stay-in-place forming system for lock wall rehabilitation*, by ABAM Engineers, Inc. (AD-A 195 471), 1987, 66p.
- ☒ REMR-CS-15. *Analysis of concrete cracking in lock wall resurfacing*, by C. D. Norman, R. L. Campbell, Sr., and S. Garner (AD-A 198 437).
- ☒ REMR-CS-16. *Repair of dam intake structures and conduits: case histories*, by R. L. Campbell, Sr., and D. L. Bean (AD-A 192 819), 1988, 100p.
- REMR-CS-17. *Surface treatments to minimize concrete deterioration:*
 - ☒ Report 1: *Survey of field and laboratory application and available products*, by D. L. Bean (AD-A 195 069), 1988, 43p.
 - ☐ Report 2: *Laboratory evaluation of surface treatment materials*, by T. B. Husbands and F. E. Causey (AD-A 227 373/8/XAB).
- ☒ REMR-CS-18. *Evaluation of concrete mixtures for use in underwater repairs*, by B. D. Neeley (AD-A 193 897), 1988, 104 p.
- ☐ REMR-CS-19. *Review of the state of the art for underwater repair using abrasion-resistant concrete*, by B. C. Gerwick, Inc. (AD-A 199 793).
- ☒ REMR-CS-20. *Evaluation of vinylester resin for anchor embedment in concrete*, by J. E. McDonald (AD-A 206 847), 1989, 45 p.
- ☒ REMR-CS-21. *In situ repair of deteriorated concrete in hydraulic structures: a field study*, by R. P. Webster, L. E. Kukacka, and D. Elling (AD-A 208 913), 1989, 45p.
- ☐ REMR-CS-22. *Monolith joint repairs: case histories*, by J. H. May and J. E. McDonald (AD-A 212 814).
- ☐ REMR-CS-23. *Evaluation of polyester resin, epoxy and cement grouts for embedding reinforcing steel bars in hardened concrete*, by J. F. Best and J. E. McDonald (AD-A 218 347).
- ☐ REMR-CS-24. *Reliability of steel civil works structures*, by P. F. Mlakar, S. Toussi, F. W. Kearney, and D. White (AD-A 212 922).
- ☐ REMR-CS-25. *Spall repair of wet concrete surfaces*, by J. Floyd Best and J. E. McDonald (AD-A 218 708).
- ☐ REMR-CS-26. *Analysis of a short pulse radar survey of revetments along the Mississippi river*, by S. A. Arcone (AD-A 213 501).

Bilaga 3: Lista över REMR Tekniska Rapporter

- REMR-CS-27. *User's guide: maintenance and repair materials data base for concrete and steel structures*, by R. L. Stowe and R. L. Campbell, Sr. (AD-A 220 386).
- REMR-CS-28. *Concepts of installation of the precast stay-in-place forming system for lock wall rehabilitation in an operational lock*, by ABAM Engineers, Inc. (AD-A 220 399).
- REMR-CS-29. *Methods of evaluating the stability and safety of gravity earth retaining structures founded on rock*, by R. M. Ebeling, G. W. Clough, J. M. Duncan, and T. L. Brandon (AD-A 251 420).
- REMR-CS-30. *In situ repair of deteriorated concrete in hydraulic structures: epoxy injection repair of a bridge pier*, by R. P. Webster, L. E. Kukacka, and D. Elling (AD-A 229 429).
- REMR-CS-31. *Evaluation of civil works metal structures*, by F. H. Kisters and F. W. Kearney (AD-A 232 865).
- REMR-CS-32. *Properties of silica-fume concrete*, by J. E. McDonald (AD-A 235 369).
- REMR-CS-33. *Anchor embedment in hardened concrete under submerged conditions*, by J. E. McDonald (AD-A 234 384).
- ☒ REMR-CS-34. *Laboratory evaluation of concrete mixtures and techniques for underwater repairs*, by B. D. Neeley, K. L. Saucier, and H. T. Thornton, Jr. (AD-A 231 195), 1990, 81p.
- REMR-CS-35. *Predicting concrete service life in cases of deterioration due to freezing and thawing*, by L. M. Bryant and P. F. Mlakar (AD-A 235 616).
- REMR-CS-36. *Evaluation and repair of concrete structures: annotated bibliography 1978-1988*, Vols. I and II, by J. E. McDonald and W. E. McDonald (Vol. I: AD-A 242 218/6/XAB; Vol. II: AD-A 242 219/4/XAB).
- ☒ REMR-CS-37. *Underwater repair of concrete damaged by abrasion-erosion*, by K. H. Khayat (AD-A 245 901), 1991, 224 p.
- REMR-CS-38. *Underwater stilling basin repair techniques using precast or prefabricated elements*, by R. D. Rail and H. H. Haynes (AD-A 245 900).
- REMR-CS-39. *Continuous deformation monitoring system (CDMS)*, by C. Lanigan (AD-A261 833).
- REMR-CS-40. *Impacts as a source of acoustic pulse-echo energy for nondestructive testing of concrete structures*, by A. M. Alexander (AD-A264 368).
- REMR-CS-41. *Comparison of cast-in-place concrete versus precast concrete stay-in-place forming systems for lock wall rehabilitation*, by W. R. Miles (AD-A273 113).
- REMR-CS-42. *Overlays on horizontal concrete surfaces: case histories*, by R. L. Campbell, Sr. (AD-A276 952).
- REMR-CS-43. *Structural evaluation of riveted spillway gates*, by J. E. Bower, M. R. Kaczinski, Z. Ma, Y. Zhou, J. D. Wood, and B. T. Yen (AD-A281 492).
- REMR-CS-44. *Field testing and structural analysis of vertical lift lock gates*, by Brett C. Commander, J. X. Schulz, G. G. Goble, and C. P. Chasten (AD-A281 491).
- REMR-CS-45. *Detection of structural damage on miter gates*, by B. C. Commander, J. X. Schulz, and G. G. Goble (AD-A285 248).

Bilaga 3: Lista över REMR Tekniska Rapporter

- REMR-CS-46. *Repair and maintenance of masonry structures: case histories*, by E. F. O'Neil (AD-A294 186).
- REMR-CS-47. *Performance criteria for concrete repair materials, phase I*, by P. H. Emmons and Alexander M. Vaysburd (AD-A295 136).
- REMR-CS-48. *Evaluation of injection materials for the repair of deep cracks in concrete structures*, P. D. Krauss, J. M. Scanlon, and M. A. Hanson (AD-A302 262).
- REMR-CS-49. *Applications of precast concrete in repair and replacement of civil works structures*, by J. E. McDonald and N. F. Curtis (AD-A299 666).
- REMR-CS-50. *A conceptual design for underwater installation of geomembrane systems on concrete hydraulic structures*, by J. C. Christensen, M. A. Marcy, A. M. Scuero, and G. L. Vaschetti (AD-A304 491).
- REMR-CS-51. *A constructibility demonstration of geomembrane systems installed underwater on concrete hydraulic structures*, by M. A. Marcy, A. M. Scuero, and G. L. Vashetti (AD-A320 679).
- REMR-CS-52. *Results of laboratory tests on materials for thin repair of concrete surfaces*, by W. G. Smoak, T. B. Husbands, and J. E. McDonald (AD-A321 981).
- REMR-CS-53. *Applications of roller-compacted concrete in rehabilitation and replacement of hydraulic structures*, by J. E. McDonald and N. F. Curtis.
- Unnumbered. *Proceedings of REMR workshop on assessment of the stability of concrete structures on rock*, 10-12 September 1985, compiled by W. F. McCleese (AD-A185 644).

Område el och mekanik

- REMR-EM-1. *A review of bird pests and their management*, by A. J. Krzysik (AD-A190 195).
- REMR-EM-2. *Evaluation of bird pest problems at U.S. Army Corps of Engineers civil works projects*, by A. J. Krzysik (AD-A191 173).
- REMR-EM-3. *Underwater applied coatings: a state-of-the-art investigation*, by R. W. Drisko and J. R. Yanez (AD-A201 712).
- REMR-EM-4. *Hydroelectric generator and generator-motor insulation tests*, by R. H. Bruck and R. G. McCormack (AD-A212 924).
- REMR-EM-5. *Lubricants for hydraulic structures*, by W. B. Clifton and A. D. Beitelman (AD-A213 260).
- REMR-EM-6. *Mechanical properties and corrosion behavior of stainless steels for locks, dams, and hydroelectric plant applications*, by A. Kumar, A. A. Odeh, and J.R. Myers (AD-A219 490).
- REMR-EM-7. *High-solids and 100-percent solids coatings: a state-of-the-art investigation*, by J. Baker and A. D. Beitelman (AD A247 557).
- REMR-EM-8. *Methods for removal of lead paint from steel structures*, by L. Smith and A. Beitelman (AD-A317 426).
- REMR-EM-9. *Abrasion resistant, volatile organic compound (voc) compliant coatings for hydraulic structures*, by A. D. Beitelman (AD-A306 376).
- REMR-EM-10. *High solids and zinc-rich epoxy coatings for corps of engineers civil works structures*, by A. D. Beitelman and D. Huffman (AD-A308 768).

Bilaga 3: Lista över REMR Tekniska Rapporter

- Unnumbered. *Proceedings of REMR workshop on management of bird pests*, by A. J. Krzysik (AD-A185 644).

Område geoteknik

- REMR-GT-1. *Mathematical analyses of landside seepage berms*, by R. A. Barron (AD-A150 014).
- REMR-GT-2. *Improvement of liquefiable foundation conditions beneath existing structures*, by R. H. Ledbetter (AD-A160 695).
- REMR-GT-3. *Geotechnical aspects of rock erosion in emergency spillway channels*:
 - Report 1: by C. P. Cameron, K. D. Cato, C. C. McAneny, and J. H. May (AD-A173 163).
 - Report 2: *Analysis of field and laboratory data*, by C. P. Cameron, D. M. Patrick, K. D. Cato, and J. H. May (AD-A203 774).
 - Report 3: *Remediation*, by C. P. Cameron, D. M. Patrick, C. O. Bartholomew, A. W. Hatheway, and J. H. May (AD-A203 775).
 - Report 4: *Geologic and hydrodynamic controls on the mechanics of knickpoint migration*, by J. H. May (AD-A216 749).
 - Report 5: *Summary of results, conclusions, and recommendations*, by C. P. Cameron, D. M. Patrick, J. H. May, J. B. Palmerton, C. C. McAneny, A. W. Hatheway, C. O. Bartholomew, C. C. Mathewson, and K. D. Cato (AD-A228 781).
- REMR-GT-4. *State of the art for design and construction of sand compaction piles*, by R. D. Barksdale (AD-A188 816).
- REMR-GT-5. *Inspection and control of levee underseepage during flood fights*, by R. W. Cunny (AD-A188 324).
- REMR-GT-6. *Geotechnical applications of the self potential (SP) method*:
 - Report 1: *The use of self potential in the detection of subsurface flow patterns in and around sinkholes*, by R. A. Erchul (ADA 194 524).
 - Report 2: *The use of self potential to detect ground-water flow in karst*, by R. A. Erchul and D. W. Slifer (ADA 209 339).
 - Report 3: *Development of self-potential interpretation techniques for seepage detection*, by R. W. Corwin and D. K. Butler (AD-A207 704).
 - Report 4: *Numerical modeling of SP anomalies: documentation of program SPPC and applications*, by M. J. Wilt and D. K. Butler (AD-A220 716).
- REMR-GT-7. *Applications of the state of the art of stone columns--liquefaction, local bearing failure, and example calculations*, by R. D. Barksdale (AD-A191 606).
- REMR-GT-8. *Review of consolidation grouting of rock masses and methods for evaluation*, by R. M. Dickinson (AD-A198 209).
- REMR-GT-9. *A survey of engineering geophysics capability and practice in the Corps of Engineers*, by D. K. Butler, R. E. Wahl, N. W. R. Mitchell, and G. L. Hempen (AD-A194 520).
- REMR-GT-10. *High-resolution seismic reflection investigations at Beaver dam, Arkansas*, by T. L. Dobecki, T. L. Mueller, and M. B. Savage (AD-A211 228).
- REMR-GT-11. *Levee underseepage analysis for special foundation conditions*, by T. F. Wolff (AD-A213 500).

Bilaga 3: Lista över REMR Tekniska Rapporter

- REMR-GT-12. *Re-evaluation of the sliding stability of concrete structures on rock with emphasis on european experience*, by K. Kovari and P. Fritz (AD-A214 403).
- REMR-GT-13. *Levee underseepage software user manual and validation*, by R. W. Cunny, V. M. Agostinelli, Jr., and H. M. Taylor, Jr. (AD-A214 024).
- REMR-GT-14. *Surface roughness characterization of rock masses using the fractal dimension and the variogram*, by J. R. Carr (AD-A225 384).
- REMR-GT-15. *Plastic concrete cutoff walls for earth dams*, by T. W. Kahl, J. L. Kauschinger, and E. B. Perry (AD-A234 566).
- REMR-GT-16. *Redevelopment of relief wells, upper wood river rainage and Levee district, Madison county, Illinois*, by J. Kissane and R. E. Leach (AD-A273 845).
- REMR-GT-17. *Applications and testing of resin-grouted rockbolts*, by T. S. Avery and J. E. Friant (AD-A245 980).
- REMR-GT-18. *Evaluation of the rehabilitation program for relief wells at Leesville dam, Ohio*, by R. E. Leach and G. Hackett (AD-A259 197).
- REMR-GT-19. *DAMSEAL--An expert system for evaluating dam seepage*, by R. L. King and W. O. Miller (AD-B171 367).
- REMR-GT-20. *Evaluation of overturning analysis for concrete structures on rock foundations*, Shannon and Wilson (AD-A273 485).
- REMR-GT-21. *Incorporation of wall movement and vertical wall friction in the analysis of rigid concrete structures on rock foundations*, Shannon and Wilson (AD-A273 009).
- REMR-GT-22. *The state of practice for determining the stability of existing concrete gravity dams founded on rock*, by J. K. Meisenheimer (AD-A298 577).
- REMR-GT-23. *Design procedure for geosynthetic reinforced steep slopes*, by D. Leshchinsky (AD-A321 646).
- REMR-GT-24. *Use of geocomposite drainage systms as a temporary measure to improve the surficial stability of levees*, by D. Leshchinsky (AD-A319 371).
- Unnumbered. *Proceedings of REMR workshop on new remedial seepage control methods for embankment-dams and soil foundations*, by E. B. Perry (AD-A191 073).
- Unnumbered. *Proceedings of REMR workshop on research priorities for drainage system and relief well problems*, by R. E. Leach and H. M. Taylor, Jr. (AD-A212 067).
- Unnumbered. *Proceedings of REMR workshop on levee rehabilitation*, compiled by E. B. Perry (AD-A285 413).

Område hydraulik

- REMR-HY-1. *Annotated bibliography for navigation training structures, compiled by W. E. Pankow and R. F. Athow, Jr.* (AD-A173 303).
- REMR-HY-2. *Floating debris control; a literature review*, by R. E. Perham (AD-A184 033).
- REMR-HY-3. *Elements of floating debris control systems*, by R. E. Perham (AD-A200 454).

Bilaga 3: Lista över REMR Tekniska Rapporter

- REMR-HY-4. *Effects of geometry on the kinetic energy of a towboat and barges in a navigation lock*, by S. K. Martin (AD-A207 057).
- REMR-HY-5. *Explicit numerical algorithm for modeling incompressible approach flow*, by R. S. Bernard (AD-A207 176).
- REMR-HY-6. *Inventory of river training structures in shallow-draft waterways*, by D. L. Derrick, H. W. Gernand, and J. P. Crutchfield (AD-A214 566).
- REMR-HY-7. *Lock accident study*, by S. K. Martin and M. E. Lipinski (AD-A228 627).
- REMR-HY-8. *Shallow-draft training structure current repair practices and repair guidelines*, by D. L. Derrick (AD-A239 045).
- REMR-HY-9. *Design criteria for lateral dikes in estuaries*, by R.C. Berger and M.P. Alexander (AD-A275 317).
- REMR-HY-10. *Icing problems at corps projects*, by F. D. Haynes, R. Haehnel, and L. Zabilansky (AD-A266 343).
- REMR-HY-11. *STREMR: numerical model for depth-averaged incompressible flow*, by R. S. Bernard (AD-A269 949).
- REMR-HY-12. *HIVEL2D: A two-dimensional flow model for high-velocity channels*, by R.L. Stockstill and R.C. Berger (AD-A286 556).
- REMR-HY-13. *HIVEL2D user's manual*, by R.C. Berger, R. L. Stockstill, and M. W. Ott (AD-A301 541).
- Unnumbered. *Proceedings of REMR workshop on repair and maintenance of shallow-draft training structures*, Compiled by D. L. Derrick (AD-A235 666).

Område förvaltning

- REMR-OM-1. *Evaluation of existing condition rating procedures for civil works structures and facilities*, by E. Koehn and A. M. Kao (AD-A170 391).
- REMR-OM-2. *REMR management system*, by H. T. Yu and A. M. Kao (AD-A200 728).
- REMR-OM-3. *User's manual: inspection and rating of steel sheet pile structures*, by L. Greimann and J. Stecker (AD-A210 411).
- REMR-OM-4. *A rating system for the concrete in navigation lock monoliths*, by R. E. Bullock (AD-A208 304).
- REMR-OM-5. *Timber dike management system*, by H. T. Yu and A. M. Kao (AD-A213 851).
- REMR-OM-6. *Network level REMR management system for civil work structures: concept demonstration on inland waterways locks*, by M. J. Markow, S. McNeil, D. Acharya, and M. Brown (AD-A217 031).
- REMR-OM-7. *Inspection and rating of miter lock gates*, by L. Greimann, J. Stecker, and K. Rens (AD-A227 198).
- REMR-OM-8. *REMR management systems-navigation structures: management system for miter gates*, by L. Greimann, J. Stecker, and K. Rens (AD-A231 469).
- REMR-OM-9. *Maintenance and repair of steel sheet pile structures*, by L. Greimann and J. Stecker (AD-A231 916).
- REMR-OM-10. *Lockwall: A microcomputer-based maintenance and repair management system for concrete navigation lock monoliths*, by D. T. McKay and A. M. Kao (AD-A228 625).

Bilaga 3: Lista över REMR Tekniska Rapporter

- REMR-OM-11. *REMR management systems--coastal/shore protection structures: condition rating procedures for rubble breakwaters and jetties-initial report*, by D. E. Plotkin, D. D. Davidson, and J. Pope (AD-A237 042).
- REMR-OM-12. *REMR management systems--navigation structures: users manual for concrete navigation lock monoliths, by automation support center*, University of Illinois, and D. T. McKay (AD-A248 994).
- REMR-OM-13. *REMR management systems--navigation structures: condition rating procedures for sector gates*, by L. Greimann, J. Stecker, and K. Rens (AD-A279 299).
- REMR-OM-14. *REMR management systems--navigation structures: condition rating procedures for tainter and butterfly valves*, by L. Greimann, J. Stecker, and J. Veenstra (AD-A279 326).
- REMR-OM-15. *REMR management systems--navigation structures, user's manual for inspection and rating software, version 2.0*, by L. Greimann, J. Stecker, K. Rens, and M. Nop (AD-A282 219).
- REMR-OM-16. *REMR management systems -- navigation and reservoir structures, condition rating procedures for concrete in gravity dams, retaining walls, and spillways*, by R. E. Bullock and S. D. Foltz (AD-A303 305).
- REMR-OM-17. *REMR management systems -- navigation structures, condition rating procedures for Tainter dam and lock gates*, by L. Greimann, J. Stecker, and M. Nop (AD-A303 294).

Bilaga 4. REMR tekniska informationsblad

Lista över tekniska informationsblad

I listan markerar ☒ att informationsbladet finns tillgänglig genom Betongtekniks referensbibliotek i Älvkarlebylaboratoriet. Markeringen ☐ betyder att måste beställas från USA.

Område kustnära tillämpningar

- ☒ CO-BS-1.1 Two-person rapid beach survey method, 3p.
- ☒ CO-RA-1.1 Condition survey of concrete armor unit breakage on existing Corps of Engineers' breakwaters and jetties, 3p.
- ☒ CO-RA-1.2 Concrete armor unit performance survey, 9p.
- ☒ CO-RR-1.1 Dolos repair and rehabilitation, 2p.
- ☒ CO-RR-1.2 Fracturing of rubble stone by explosive charges, 7p.
- ☒ CO-RR-1.3 Reduction of wave runup on a revetment by addition of a berm, 5p.
- ☒ CO-RR-1.4 Performance of bermed revetments, 6p.
- ☒ CO-RR-1.5 Reduction of wave overtopping by parapets, 9p.
- ☒ CO-RR-1.6 Movement and static stresses in dolosse, 11p.
- ☒ CO-RR-1.7 Concrete armor unit fabrication, 5p.
- ☒ CO-RR-8.1 Case history of breakwater/jetty repair: chemical grout sealing of Palm Beach Harbor south jetty, Florida, 6p.
- ☒ CO-SE-1.1 Diver inspection of coastal structures, 3p.
- ☒ CO-SE-1.2 Crane survey of submerged rubble-mound coastal structures, 7p.
- ☒ CO-SE-1.3 High-resolution sonar systems for bathymetric applications, 4p.
- ☒ CO-SE-1.4 Side scan sonar for inspection of coastal structures, 8p.

Område betong- och stål

- ☒ CS-ES-1.1 System for rapid assessment of quality of concrete in existing structures, 2p.
- ☒ CS-ES-1.2 Sonic pulse-echo system for determining length and condition of concrete piles in situ, 2p.
- ☒ CS-ES-1.3 Ultrasonic system for rapid assessment of soundness of sheet pile and flat structures, 2p.
- ☒ CS-ES-1.4 Nondestructive testing methods for metal structures, 5p.
- ☒ CS-ES-1.5 Specifying welding or nondestructive testing of welds, 2p.
- ☒ CS-ES-1.6 Underwater nondestructive testing of metal structures (training for divers), 3p.
- ☒ CS-ES-1.7 Petrographic examination of distressed concrete, 8p.
- ☒ CS-ES-1.8 Water absorption and water vapor transmission testing, 2p.
- ☒ CS-ES-1.9 Systems for detecting steel embedded in concrete, 6p.
- ☒ CS-ES-1.10 Nondestructive testing of concrete with ultrasonic pulse-echo, 4p.
- ☒ CS-ES-1.11 Interim fracture and fatigue analysis for aging steel miter gates, 5p.
- ☒ CS-ES-1.12 Guidelines for assessing condition of riveted spillway gates, 5p.

Bilaga 5: Konverteringstabell

- ☒ CS-ES-1.13 Site inspection and sampling concrete damaged by alkali-silica reaction, 6p.
- ☒ CS-ES-2.1 Automated system for monitoring plumblines in dams, 4p.
- ☒ CS-ES-2.2 Method of measuring the tilt of large structures, 2p.
- ☒ CS-ES-2.3 Methods of automating the collection of instrumentation data, 3p.
- ☒ CS-ES-2.4 Estimation of reliability of civil works steel structures, 19p.
- ☒ CS-ES-2.5 Economically optimal nondestructive evaluations of steel structures, 15p.
- ☒ CS-ES-2.6 Video systems for underwater inspection of structures, 7p.
- ☒ CS-ES-2.7 Continuous monitoring of small structural deformations, 2p.
- ☒ CS-ES-2.8 Predicting concrete service life for cases of freezing and thawing deterioration, 9p.
- ☒ CS-ES-3.1 System for rapid, accurate surveys of submerged horizontal surfaces, 4p.
- ☒ CS-ES-3.2 Underwater camera for inspection of structures in turbid water, 2p.
- ☒ CS-ES-3.3 Underwater cleaning of concrete and steel: powered hand tools, 4p.
- ☒ CS-ES-3.4 Underwater cleaning of concrete and steel: abrasive waterjets, 4p.
- ☒ CS-ES-3.5 Underwater cleaning of concrete and steel: high-pressure waterjets, 5p.
- ☒ CS-ES-3.6 Underwater cleaning of concrete and steel: diver-operated jet-dredge, 3p.
- ☒ CS-ES-3.7 Underwater cleaning of concrete and steel: self-propelled vehicles, 4p.
- ☒ CS-ES-4.1 Using current guidance to conduct a stability analysis of a concrete structure founded on rock or soil, 10 p.
- ☒ CS-ES-4.2 Computer programs for structural stability evaluations, 6p.
- ☒ CS-ES-4.3 Stability of existing concrete structures, 9p.
- ☒ CS-ES-4.4 Variation in uplift pressures with changes in loadings along a single rock joint below a gravity dam, 10p.
- ☒ CS-ES-4.5 Uplift pressures resulting from flow along tapered rock joints, 13p.
- ☒ CS-MG-1.1 Anchor embedment in hardened concrete, 6p.
- ☒ CS-MG-1.2 Diver-operated grout dispenser, 4p.
- ☒ CS-MR-1.1 Concrete removal technique: cutter boom, 2p.
- ☒ CS-MR-1.2 Concrete removal technique: explosive blasting, 4p.
- ☒ CS-MR-1.3 Concrete removal technique: expansive agent, 4p.
- ☒ CS-MR-1.4 Concrete removal technique: vehicle-mounted breaker, 3p.
- ☒ CS-MR-1.5 Concrete removal technique: hand-held breaker, 3p.
- ☒ CS-MR-1.6 Concrete removal technique: diamond blade saw, 4p.
- ☒ CS-MR-1.7 Concrete removal technique: stitch drilling, 4p.
- ☒ CS-MR-1.8 Concrete removal technique: concrete splitter, 4p.
- ☒ CS-MR-1.9 Concrete removal technique: water jet blasting, 4p.
- ☒ CS-MR-1.10 Concrete removal technique: shot blasting, 2p.
- ☒ CS-MR-1.11 Concrete removal technique: diamond wire cutting, 3p.
- ☒ CS-MR-1.12 Removal limits for repair of damaged and deteriorated concrete structures, 4p.
- ☒ CS-MR-1.13 Lock wall rehabilitation, 3p.
- ☒ CS-MR-1.14 Concrete removal techniques: selection, 11p.
- ☒ CS-MR-2.1 Concrete surface preparation prior to repair, 5p.
- ☒ CS-MR-3.1 Selection of a crack repair method, 6p.
- ☒ CS-MR-3.2 Crack repair method: routing and sealing, 2p.
- ☒ CS-MR-3.3 Crack repair method: drilling and plugging, 2p.
- ☒ CS-MR-3.4 Crack repair method: external stressing, 2p.
- ☒ CS-MR-3.5 Crack repair method: stitching, 2p.

Bilaga 5: Konverteringstabell

- ☒ CS-MR-3.6 Crack repair method: conventional reinforcement, 2p.
- ☒ CS-MR-3.7 Crack repair method: grouting (Portland-cement and chemical), 3p.
- ☒ CS-MR-3.8 Crack repair method: drypacking, 2p.
- ☒ CS-MR-3.9 Crack repair method: epoxy injection, 3p.
- ☒ CS-MR-3.10 Crack repair method: flexible sealing of mastic filling, 3p.
- ☒ CS-MR-3.11 Crack repair method: polymer impregnation, 2p.
- ☒ CS-MR-3.12 Hydrostatic tests of injection ports used for in situ repair of concrete, 2p.
- ☒ CS-MR-4.1 Applying colorless coatings to brick masonry, 5p.
- ☒ CS-MR-4.2 Graffiti-resistant coatings, 2p.
- ☒ CS-MR-4.3 Removal and prevention of efflorescence on concrete and masonry building surfaces, 3p.
- ☒ CS-MR-4.4 Cleaning concrete surfaces, 4p.
- ☒ CS-MR-4.5 Spall repair, 12p.
- ☒ CS-MR-7.1 General information on polymer materials, 8p.
- ☒ CS-MR-7.2 Antiwashout admixtures for underwater concrete, 9p.
- ☒ CS-MR-7.3 Rapid-hardening cements and patching material, 9p.
- ☒ CS-MR-7.4 Selection of concrete exterior wall coatings, 4p.
- ☒ CS-MR-8.1 Case history of underwater concrete repair: repair of stilling basin, Webbers Falls lock and dam, Arkansas River, using Tremie concrete, 4p.
- ☒ CS-MR-8.2 Case history of lock rehabilitation: Brandon Road lock, Illinois waterway, 5p.
- ☒ CS-MR-8.3 Case history of improving structural stability of concrete structures on rock: grouting, crack repair, and installation of rock anchors at John Day lock and dam, 6p.
- ☒ CS-MR-8.4 Case history of improving structural stability of concrete structures on rock: installation of rock anchors to improve stability against sliding, Alum Creek dam, 6p.
- ☒ CS-MR-8.5 Case history of improving structural stability of concrete structures on rock: installation of rock anchors to improve stability against overturning, lock No. 3, Monongahela River, 6p.
- ☒ CS-MR-8.6 Case history of lock rehabilitation: Lockport lock, Illinois waterway, 4p.
- ☒ CS-MR-8.7 Case history of monolith joint repairs: lock No. 2, Mississippi river, 4p.
- ☒ CS-MR-8.8 Case history of dam repair: Remedial waterstops, 7p.
- ☒ CS-MR-9.1 Specialized repair technique: repair of structures damaged by abrasion-erosion, 5p.
- ☒ CS-MR-9.2 Specialized repair technique: repair of structures damaged by cavitation-erosion, 2p.
- ☒ CS-MR-9.3 Specialized repair technique: concrete underwater, 3p.
- ☒ CS-MR-9.4 Specialized repair technique: preplaced aggregate concrete, 3p.

Område el och mekanik

- ☒ EM-CR-1.1 Selection guide for wrought stainless steel fasteners for civil works applications, 3p.
- ☒ EM-CR-1.2 Cathodic protection of civil works structures, 1p.
- ☒ EM-CR-1.3 Use of ceramic anodes to prevent corrosion, 5p.
- ☒ EM-CR-1.4 Pipe corrosion monitor, 3p.
- ☒ EM-CR-1.5 Mechanical properties and corrosion behavior of stainless steels for lock, dam, and hydroelectric plant applications, 10.
- ☒ EM-CR-1.6 The use of A690 mariner steel sheet pilings, 3p.

Bilaga 5: Konverteringstabell

- ☒ EM-CR-8.1 Stainless steel tainter gate and tractor-type dam gate components: successful case histories, 3p.
- ☒ EM-MM-1.1 Lubricants for hydraulic structures, 2p.
- ☒ EM-MS-1.1 Selection of dam gate seal materials, 2p.
- ☒ EM-MS-1.2 Dam gate seal heaters, 3p.
- ☒ EM-PC-1.1 Forms and causes of galvanic corrosion in the coastal environment, 3p.
- ☒ EM-PC-1.2 Paint test kit for field screening of paints, 2p.
- ☒ EM-PC-1.3 Underwater applied coatings, 2p.
- ☒ EM-PC-1.4 Development of high solids coatings, 2p.
- ☒ EM-PC-1.5 Evaluating aged red lead coating systems for service-life extension, 4p..

Område geoteknik

- ☒ GT-RE-1.1 Rock erosion in emergency spillway channels, 3p.
- ☒ GT-RE-1.2 Methodology for selecting shear-strength parameters of rock, 6p.
- ☒ GT-RE-1.3 Rock erosion in spillway channels, 4p.
- ☒ GT-RE-1.4 Use of fractal dimension to characterize surface roughness of rock masses, 3p.
- ☒ GT-RE-1.5 Physical modeling: principles applied to sliding stability of gravity structures, 6p.
- ☒ GT-RE-1.6 Centrifuge modeling: principles applied to sliding stability of gravity structures, 7p.
- ☒ GT-RR-1.1 Injectability of grouts containing microfine cement and Portland cement with a high-range water-reducing agent, 5p.
- ☒ GT-SE-1.1 USDA soil conservation service spillway erosion studies, 2p.
- ☒ GT-SE-1.2 Water-jet erodibility measurement device, 3p.
- ☒ GT-SE-1.3 Methods of analyzing the need and requirements for landside seepage berms, 2p.
- ☒ GT-SE-1.4 Operating piezometers under freezing conditions, 8p.
- ☒ GT-SE-1.5 Bioengineering technique of reservoir shoreline erosion control in Germany, 6p.
- ☒ GT-SE-1.6 Traditional techniques for shoreline erosion control in reservoirs, 6p.
- ☒ GT-SR-1.1 Drilling Machine for excavation for concrete cutoff walls, 3p.
- ☒ GT-SR-1.2 Methods for improvement of liquefiable soil conditions, 13p.
- ☒ GT-SR-1.3 Design procedures for plastic concrete cutoff walls, 7p.

Område hydraulik

- ☒ HY-FC-1.1 Causes of excessive scour downstream from high-level emergency spillways, 3p.
- ☒ HY-FC-1.2 Guidance for evaluation of existing high-level emergency spillways, 3p.
- ☒ HY-FC-1.3 Structural modifications to prevent excessive scour downstream from high-level emergency spillways, 3p.
- ☒ HY-MM-1.1 Elimination of adverse approach flow conditions using a computer model, 2p.
- ☒ HY-MM-1.2 Screening of rehabilitation alternatives through numerical modeling of approach flows, 3p.
- ☒ HY-MS-1.1 Streambank protection guidelines, 4p.
- ☒ HY-N-1.1 Grout-filled fabric bags as a substitute for riprap, 3p.

Bilaga 5: Konverteringstabell

- ☒ HY-N-1.2 Channel maintenance control through optimum structural rehabilitation, 6p.
- ☒ HY-N-1.3 Guidance for repairing scoured areas below navigation dam stilling basins and spillway aprons, 10p.
- ☒ HY-N-1.4 Interim guidance on lock gate barrier systems, 12p.
- ☒ HY-N-1.5 Scour protection downstream of uncontrolled fixed-crest dams, 9p.
- ☒ HY-N-1.6 Scour protection downstream from gated low-head navigation dams, 8p.
- ☒ HY-N-1.7 Lock accident study - contents and findings, 5p.
- ☒ HY-N-1.8 Channel maintenance: guidelines for dike spacing, 4p.
- ☒ HY-N-1.9 Icing reduced with miter gate recess wall heaters, 3p.
- ☒ HY-N-1.10 Icing reduced with plastic on miter gate recess walls, 3p.
- ☒ HY-N-1.11 Heater panels for ice prevention at roller gate end recesses, 5p.

Område förvaltning

- ☒ OM-CI-1.1 Rating system for concrete in a navigational lock, 2p.
 - ☒ OM-CI-1.2 The REMR condition index: condition assessment for maintenance management of civil works facilities, 5p.
 - ☒ OM-MS-1.1 REMR management systems for civil works structures, 5p.
 - ☒ OM-MS-1.2 REMR management system for concrete navigation lock monoliths, 4p.
 - ☒ OM-MS-1.3 REMR management system for miter lock gates, 4p.
 - ☒ OM-MS-1.4 REMR management system for steel sheet-pile structures, 4p.
 - ☒ OM-MS-1.5 REMR management system for rubble breakwaters and jetties, 3p.
 - ☒ OM-MS-1.6 REMR management system for timber dikes, 6p.
 - ☒ OM-MS-1.7 REMR management system for sector gates, 4p.
 - ☒ OM-MS-1.8 REMR management system for emptying and filling valves, 5p.
 - ☒ OM-MS-1.9 REMR management system for riverine training dikes and revetment, 2p.
 - ☒ OM-MS-1.10 Condition rating procedures for concrete in gravity dams, retaining walls, and spillways, 3p.
-

ELFORSK

SVENSKA ELFÖRETAGENS FÖRSKNINGS- OCH UTVECKLINGS-ELFORSK - AB

Elforsk AB, 101 53 Stockholm, Besöksadress: Olaf Palmes Gata 31
Telefon: 08-677 25 30, Telefax: 08-677 25 35, E-post: info@elforsk.se