

Studie och uppföljning av reparationer utförda på utskov/skibord

Elforsk rapport 01:29

STUDIE OCH UPPFÖLJNING AV REPARATIONER UTFÖRDA PÅ UTSKOV/SKIBORD

Elforsk rapport 01:29



Foto taget vid Akkats kraftstation längs Luleälven.

Förord

Tack till dem som gjort projektet möjligt. Det vill säga representanter från kraftbolagen, Birka Energi AB samt Vattenfall AB, som tagit sig tid och tillåtit besiktning och provtagning av skibord tillhörande anläggningarna, Edsvalla, Lasele och Ligga. Dessutom tackas NCT och SwedPower AB för hjälp med provtagning i fält.

Resultat och utvärdering av skibordsreparationer är en del i Elforskverksamheten hos Vattenfall Utveckling där vattenkraftens betongkonstruktioner står i fokus. Rapporten ska vara behjälplig vid upphandling och val av reparationsmetoder.

Projektet har tidigare presenterats på Kraftindustrins Betongdag november 2000.

Älvkarleby september 2001

Emma Björkenstam

Sammanfattning

På uppdrag av Elforsk har Vattenfall Utveckling AB inom verksamhetsområdet ”Effektivisering, säkerhet och underhåll” genomfört en uppföljning av reparationer utförda vid utskov och där det är skiborden som är av speciellt intresse. Anledningen till detta är att reparationer ofta görs på dessa konstruktionsdelar, vilka är hårt utsatta och där skador lätt uppkommer. Dessutom finns det ett uttalat behov av att sammanställa erfarenheter på området och studera olika reparationsmetoder. Projektet omfattar en mindre litteraturstudie, samt en genomgång av Elforsks betongreparationsdatabas där skibordsreparationer lyfts fram och studeras separat. Dessutom har tre stycken reparationer i fält följts upp.

Syftet med projektet har varit att sammanställa nationella erfarenheter av reparationsmetoder utförda på utskov/skibord och utvärdera dessa. Utvärderingen har resulterat i ett antal rekommendationer för beställare.

Utförd litteraturstudie visar att man nationellt har dokumenterat två typer av skibordsreparationer dels där konventionell gjutning i kombination med vakuumbehandling använts och dels sprutbetong. Dessutom har en allmän inventering av betongreparationer inom vattenkraften genomförts 1997-1999. En studie av den sistnämnda visade att:

- ❑ Den vanligast åtgärdade konstruktionsdelen är utskovet.
- ❑ Den vanligaste skadeorsaken på ett skibord är frostangrepp.
- ❑ Den vanligaste reparationsmetoden är konventionell betonggjutning.
- ❑ De flesta utförda reparationerna upplevs av ägarna ha fått ett gott resultat.
- ❑ De inrapporterade reparationerna på skibord är oftast inte äldre än 5-10 år

Vid en sökning av internationella erfarenheter av reparationer utförda på utskov/skibord visade det sig att dokumenterade skador ofta är mer omfattande och därmed påverkar hela utskovspartiet. Detta resulterar även i större och mer omfattande åtgärder. Orsak till skador är ofta erosion/nötning, alkalikiselsyrareaktioner och där frost är en bidragande orsak till ett hastigare förlopp (där frostrisk förekommer). De internationella erfarenheterna kan inte direkt appliceras på svenska kraftanläggningar p.g.a. olika förekomst av skador, men det ändå är av vikt för framtida skadeförlopp - t.ex. vid ökade vattenflöden.

Uppföljning av tre objekt i fält gjordes på reparationer utförda vid Edsvalla, Ligga och Lasele kraftstation. Reparationsmetoderna var av typerna konventionell gjutning, sprutbetong samt ytreparationer med lagningsbruk. En analys av de tre vanligaste reparationsmetoderna har utförts som grundar sig på litteratur samt erfarenheter från fält. Dessa metoder är just konventionell gjutning, sprutbetong samt lagningsbruk.

Slutsatsen av projektet blir:

- ❑ De flesta reparationer på utskov är inte äldre än 5-10 år om man ser till inrapporterat material i databasen. (En reparation beräknas ofta hålla i minst 25-30 år.)
- ❑ Det är svårt att peka ut någon reparationsmetod som är bättre än någon annan då eventuella brister kan bero på utförandet likväl som val av metod. Dessutom påverkas valet av reparationsmetod av hur stora ytor som ska repareras (t.ex. konventionell gjutning kontra lagningsbruk).
- ❑ Av de skibord som studerats har brister vid utförandet ändå inte resulterat i några större skador i dagsläget.
- ❑ Fogar är viktiga vad gäller utförandet, val av material etc. Det är ofta här som skador uppkommer. Ämnet kräver dock en fortsatt utredning då erfarenheterna är begränsade.
- ❑ Viktigt att utnyttja de erfarenheter som finns inom området. Kompetens finns t.ex. inom Vattenfall Utveckling AB.

Rekommendationer till beställare är:

- ❑ Då större reparationer över hela skibord ska utföras bör rationella metoder som konventionell gjutning eller sprutbetong användas. Erfarenheterna av dessa är många och utnyttjas dessa erhålls ett gott resultat.
- ❑ Mindre reparationer kan med fördel utföras med något lagningsbruk. När dessa produkter används behöver inte ytan alltid vattenbilas utan det räcker ofta med högtryckstvätt. Därefter läggs materialet på för hand och ytan jämnas av och härdas. Se bara till att välja en produkt som är anpassad för ändamålet. Förekommer det osäkerhet om en produkt har en viss önskad egenskap, be tillverkaren förprova (praktiska försök i laboratorium) alternativt välj en annan produkt. Mer information finns i Elforskrapport "Sammanställning av materialdata för lagningsbruk" samt i "Lagningsbruk – önskade bruksegenskaper och provningsprogram för att kontrollera dessa".
- ❑ Omfattande reparationer kan även utföras genom att applicera något lämpligt lagningsbruk då tillgängligheten, konstruktionens utformning, gynnar detta arbetssätt. Exempel på detta finns inne i rapporten – reparation vid Lasele kraftstation.
- ❑ Kontrollera entreprenörernas erfarenhet inom aktuellt område och begär att få erfaren personal som utför arbetet. Detta gäller särskilt vid reparationsmetoder som kräver god uppföljning/kontroll. Var noga med att anlita en entreprenör har ett bra kvalitetsprogram och egenkontroll. (Görs lämpligast genom att diskutera med entreprenören samt kontrollera om de är certifierade.)
- ❑ Se till att erforderlig provtagning genomförs genom att besöka arbetsplats och be att få in provresultat.

Innehållsförteckning

1	INLEDNING.....	1
1.1	BAKGRUND	1
1.2	SYFTE OCH MÅL	1
1.3	BEGRÄNSNINGAR	1
1.4	GENOMFÖRANDE	2
2	LITTERATURSTUDIE - OLIKA METODER OCH MATERIAL.....	3
2.1	NATIONELLA ERFARENHETER.....	3
2.2	INTERNATIONELLA ERFARENHETER.....	9
3	UPPFÖLJNING AV TRE OBJEKT I FÄLT	15
3.1	EDSVALLA KRAFTSTATION	15
3.2	LIGGA KRAFTSTATION	19
3.3	LASELE	26
4	ANALYS	31
4.1	ANALYS AV INTERNATIONELLA REPARATIONSMETODER	32
5	SLUTSATS OCH REKOMMENDATIONER	33
5.1	REKOMMENDATIONER TILL BESTÄLLARE	33
6	REFERENSER.....	35

Bilagor

A DATABAS - SKIBORDSREPARATIONER

1 Inledning

På uppdrag av Elforsk har Vattenfall Utveckling AB inom verksamhetsområdet ”Effektivisering, säkerhet och underhåll” genomfört en studie av reparationer utförda vid utskov och där det är skiborden som är av speciellt intresse. Anledningen till detta är att reparationer ofta görs på dessa konstruktionsdelar eftersom de är hårt utsatta och därav uppkommer skador. Dessutom finns det ett uttalat behov av att sammanställa erfarenheter på området och studera olika reparationsmetoder.

Projektet omfattar en mindre litteraturstudie samt en genomgång av Elforsk betongreparationsdatabas där skibordsreparationer lyfts fram och studerats separat. Dessutom har tre skibordsreparationer följts upp i fält.

1.1 Bakgrund

Vattenkraftens anläggningar innehar idag en sådan ålder och är i sådant skick att reparationerna blir allt mer frekvent och med största sannolikhet kommer behovet att öka i framtiden. Detta gäller speciellt de delar av anläggningarna som utsätts för störst påfrestningar, vilket är vattenvägarna. (Vattenkraftens anläggningar innehar idag en ålder mellan 30 och 100 år.)

En av de vanligaste utförda betongreparationerna idag är reparation eller ombyggnad av utskov/skibord och just detta är anledningen till att denna konstruktionsdel lyfts fram och studerats närmare.

1.2 Syfte och mål

Syftet med projektet har framförallt varit att sammanställa nationella erfarenheter av reparation av utskov/skibord. Dessa uppgifter kompletterats med de problemställningar som man har internationellt på detta område, vilket många gånger skiljer sig från de svenska. Ytterligare ett syfte är att genom denna rapport ge exempel på reparationsmetoder.

Målet är att denna rapport ska vara ett hjälpmedel för beställare när de står inför en reparation av ett utskov/skibord. Materialet är dessutom ett bra underlag för de konsulter och entreprenörer som arbetar med uppdrag åt vattenkraftindustrin.

1.3 Begränsningar

De begränsningar som föreligger är att projektet pågått under en kortare tid och där ekonomin ej tillåtit att fler och djupare studier från vare sig litteraturen eller fältet kunnat genomföras. Detta medför att rekommendationer som presenteras baseras på ett något tunt material. Dessutom redogörs det inte närmare för varje reparationsmetod, utan läsaren hänvisas till litteraturen. Andra begränsningar är att årets (2000) höga vattenflöde i älvarna medfört att något objekt¹ i fält valts bort och ett annat har valts i dess ställe. En annan begränsning är använd utrustning vid provtagning. Den borr som

¹ Detta gäller kraftstationer i Stadsforsen och Hölleforsen, ägda av Vattenfall AB.

använts vid provtagning av vidhäftning medgav inte att pågjutningar tjockare än 23 cm kunde kontrolleras. Detta medförde bl.a. att tjockare pågjutning med t.ex. konventionell betong ej kunde genomföras. Vidhäftningsutrustningen är även utformad på sådant sätt att pågjutningar tunnare än ca. 2 cm ej kan provdras på plats. Dessa provkroppar har tagits med till Vattenfall Utvecklings betonglaboratorium för dragprovning.

1.4 Genomförande

Projektet har behandlat följande, vilket även listas i den ordning som redovisning sker i rapporten:

- ☐ Sammanställning av nationella reparationserfarenheter inom området
- ☐ Mindre litteraturstudie av internationella erfarenheter
- ☐ Val, besiktning och uppföljning av tre objekt i fält
- ☐ Analys av reparationsmetoder
- ☐ Slutsats och rekommendationer

2 Litteraturstudie - metoder och material

För detta projekt har en studie utförts av nationell samt några valda internationella artiklar, vilka samtliga behandlar olika reparationsmetoder använda på utskov/skibord.

2.1 Nationella erfarenheter

De nationella erfarenheter som finns dokumenterade på området har gjorts vid Vattenfall Utveckling AB. En sammanställning av dessa redovisas i korta ordalag nedan.

2.1.1 *Konventionell gjutning i kombination med vakuumbehandling*

1991 skrevs en rapport hos Vattenfall Utveckling AB [a] där man i första hand ville klarlägga problem och möjligheter med en reparationsmetod baserad på klätterformsgjutning och efterföljande vakuumbehandling. Syftet med vakuumbehandling är att ta bort vatten ur färska betongytan, vilken placerats och vibrerats på vanligt sätt i gjutform och därmed erhålla gjut- och arbetstekniska fördelar [b]. Dessa fördelar är bl.a. högre hållfasthet, snabbare hållfasthetsutveckling, hög slitstyrka, bra ytstyrka samt mindre sprickbildning. De nackdelar som dock föreligger är bl.a. ett extra arbetsmoment, svårt att uppfylla höga ytjämnhetskrav samt risk för ojämnheter.

Rapporten behandlar även orsaker till skador på betongkonstruktioner samt åtgärder för att reparera dessa. Även reparationer utförda i USA och Indien redovisas kortfattat.

Rapporten avslutas med en redovisning av skibordreparation i laboratoriemiljö med hjälp av klätterform och vakuumbehandling. De utförda försöken resulterade senare i ett demonstrationsprojekt som utfördes vid Ligga kraftverk [c], vilket det redogörs närmare för i kapitel 3 (uppföljning från fält).

Erfarenheterna av denna metod ansågs som mycket bra enligt författaren till rapporten. Dock hade provtagning på den färdiga konstruktionen ej utförts när uttalandet gjordes.

2.1.2 *Sprutbetongreparationer*

1996 genomförde Vattenfall Utveckling AB en inventering av sprutbetongarbeten [d] där allt från järnvägstunnlar, bropelare till utskov studerades. De skibord som ingick i studien var skibord vid kraftstationerna Hölleforsen, Nämforsen samt Stadsforsen.

Kontentan av dessa undersökningar var att sprutbetongreparationer är bra om de utförs rätt. Detta kan även läsas ur den kortare redogörelse av reparationerna och de observationer som gjordes på plats. Se **tabell 2.1.1 till 2.1.6**. (Inga vidare efterforskningar har utförts där uppgifter saknas i tabellerna.)

Hölleforsen kraftstation

Tabell 2.1.1 Hölleforsen kraftstation - Tekniska data

Tekniska data	
Byggår:	1949
Typ av anläggning:	Ovanjordsanläggning, jordfyllnadsdamm längd 340 m, höjd 41 m, uppdämd volym ca. 1×10^6 m ³
Kapacitet:	3 kaplanturbiner, ger ca. 715 GWh/år, fallhöjd 25 m, medelflöde 442 m ³ /sek, spill 2500 m ³ /sek.

Tabell 2.1.2. Hölleforsen kraftstation - Information om reparation

Skibordsreparation	Skibord C
Reparationsår:	1990
Skada (typ och orsak):	Uppgift saknas
Förutsättningar vid reparation:	Utfördes vintertid under inbyggnadstält
Typ av reparation:	Sprutbetongreparation
Metod:	Torrspjutning med stålfibrer utförd i skift om ca. 3 meter från luckans nederkant uppifrån och ner längs skibordet.
Materialval:	Sprutbetong med stålfibrer, Dramix 30/0.5
Förarbeten:	Uppgift saknas
Efterarbeten	Uppgift saknas
Kontroll och provtagning	Uppgift saknas
Resultat: (iakttagelse gjord 1996.)	Ej bra, sprutbetongen har lossnat på ett större område och den gamla armeringen (ø36 mmm slätstål) är delvis frilagd och korroderad.
Entreprenör:	Uppgift saknas
Beställare:	Vattenfall Vattenkraft AB

Nämforsen kraftstation

Tabell 2.1.3. Nämforsen kraftstation - Tekniska data

Tekniska data	
Byggår:	1947 samt 1957
Typ av anläggning:	Underjordsanläggning, längd 490 m, höjd <15 m, uppdämd volym ca. $2 \times 10^6 \text{ m}^3$
Kapacitet:	3 kaplanturbiner, ger ca. 490 GWh/år, fallhöjd 22 m, medelflöde 327 m ³ /sek, spill 2820 m ³ /sek.

Tabell 2.1.4. Nämforsen kraftstation - Information om reparation

Skibordsreparation	Skibord A	Skibord B	Skibord C
Reparationsår:	1990		
Skada (typ och orsak):	Uppgift saknas		
Förutsättningar vid reparation:	Reparation utfördes i januari under tält som hölls varma.		
Typ av reparation:	Sprutbetongreparation		
Metod:	Torrspjutning, där betongen applicerades i ca. 50 mm tjocka skikt uppifrån dammluckan och ner längs skibordet på en bredd av ca. 4 m.		
Materialval:	Sprutbetong med polypropylenfibrer		
Förarbeten:	Vattenbilning		
Utförande:	Applicering i 50 mm tjocka skikt uppifrån dammluckan och ner längs skibordet på en bredd av ca. 4 m.		
Efterarbeten	Uppgift saknas	Uppgift saknas	Stålglättning
Kontroll och provtagning	Uppgift saknas	Uppgift saknas	Vidhäftning ² : Oktober 1990: 1,8 resp. 2,0 MPa (brott i gamla betongen). Maj 1996: 2,0 resp. 1,5 MPa (brott i gamla betongen).
Resultat: (Iakttagelse gjord 1996.)	Ej bra. I nederkant på skibord ses partier som lossnat och ca. 0,5-1 m ² stora bitar är borta. Lagningar förekommer även i skibordets nedre del och längs en skarv mellan två sprutbetongskikt.	Bra.	Ej bra. Sämre vidhäftning p.g.a. stålglättning som resulterade i skada efter 2 år. Skikt på ca. 20 mm. Skadorna reparerades med Chesterton - lagningsbruk.
Entreprenör:	Uppgift saknas		
Beställare:	Vattenfall Vattenkraft AB		

² Rekommenderad vidhäftning är 1,5 MPa eller brott i underliggande betong.

Stadsforsen kraftstation, Indalsälven

Tabell 2.1.5. Stadsforsen kraftstation - Tekniska data

Tekniska data	
Byggår:	1939 och 1952
Typ av anläggning:	Ovanjordsanläggning, gravitations- och jordfyllnadsdamm längd 1060 m, höjd 23 m, uppdämd volym ca. $4 \times 10^6 \text{ m}^3$
Kapacitet:	3 kaplanturbiner, ger ca. 790 GWh/år, fallhöjd 29 m, medelflöde 442 m ³ /sek, spill 2800 m ³ /sek.

Tabell 2.1.6. Stadsforsen kraftstation - Information om reparation

Skibordsreparation	Skibord C
Reparationsår:	1989
Skada (typ och orsak):	Uppgift saknas
Förutsättningar vid reparation:	Uppgift saknas
Typ av reparation:	Sprutbetongreparation
Metod:	Torrsprutning uppifrån luckan och ned i sektioner om 3-4 m och i 2-3 påslag upp till ca. 70 mm tjocklek. Sprutning utfördes uppifrån luckan och ned i sektioner om 3-4 m och i 2-3 påslag upp till 70 mm tjocklek.
Materialval:	Sprutbetong: 1:3, stenmax 10 mm, stålfibrer Hörle 30 mm
Förarbeten:	Den gamla och skadade betongen på skiborden togs bort genom vattenbilning. Noggrann rengöring och vattning till lätt sugande underlag.
Efterarbeten	Stålglättning och vakuumbehandling längst ned. Eftervattning i 5 dygn efter sprutning.
Kontroll och provtagning	Vidhäftning: 1996 1,3 MPa (mest i gamla betongen) Tryckhållf.: 85-130 MPa.
Resultat: (Iakttagelse gjord 1996.)	Bra.
Entreprenör:	Uppgift saknas
Beställare:	Vattenfall Vattenkraft AB

2.1.3 Sammanställning av skibordsreparationer från reparationsdatabas

I ett Elforskprojekt, som bedrevs under åren 1997 till 1999, genomförde Betongtekniken vid Vattenfall Utveckling AB en inventering av betongreparationer utförda på svenska vattenkraftanläggningar [e]. I och med detta projekt gjordes även en sammanställning av utförda utskovs-/skibordsreparationer.

Projektet resulterade även i en reparationsdatabas. Målet är att denna databas skall att finnas tillgänglig via Internet. Vid senaste revisionen 2000 fanns 49 reparationsåtgärder av intresse som berör enbart skibordsreparationer (av totalt 215 inrapporterade åtgärder).

I rapporten ifråga och den sammanställning som där gjorts av skibordsreparationer kan följande nämnas: Den vanligaste reparationsmetoden är konventionell gjutning med överform och där man använt K30-K40 betong. Metoden innebär att skibordet vattenbilas och rengörs så att en god vidhäftning kan garanteras. Därefter läggs eventuell

kompletterande armering på plats och formen sätts upp. Skibordet gjuts så på konventionellt vis och betongen härddas på lämpligt sätt. Denna reparationsmetod används framförallt när hela skibord skall åtgärdas.

Det har även förekommit flera fall där sprutbetong använts för skibordsreparationer. Reparationen går kort beskrivet till så att ytan vattenbilas och rengörs så att förutsättningarna för god vidhäftning uppfylls. Oftast torrsprutas skibordet därefter med eller utan fibrer. Den färdiga ytan jämnas av på lämpligt vis och härddas. Denna reparationsmetod används framför allt när hela skibord skall åtgärdas.

Materialet i databasen omfattar även reparationer av hela eller delar av skibord med diverse polymermodifierade material såsom Densit, Lafarge och Rescon samt Chesterton. När dessa produkter används behöver inte ytan alltid vattenbilas utan det räcker ofta med högtryckstvätt. Därefter läggs materialet på för hand och ytan jämnas av och härddas.

Vid vissa lagningar har även injektering använts som komplement. Se även sammanställning från rapporten i Bilaga A.

I **diagram 2.1.1** till **2.1.5** visas statistiska sammanställningar av materialet i databasen. Informationen är från senaste uppdateringen i december 2000.

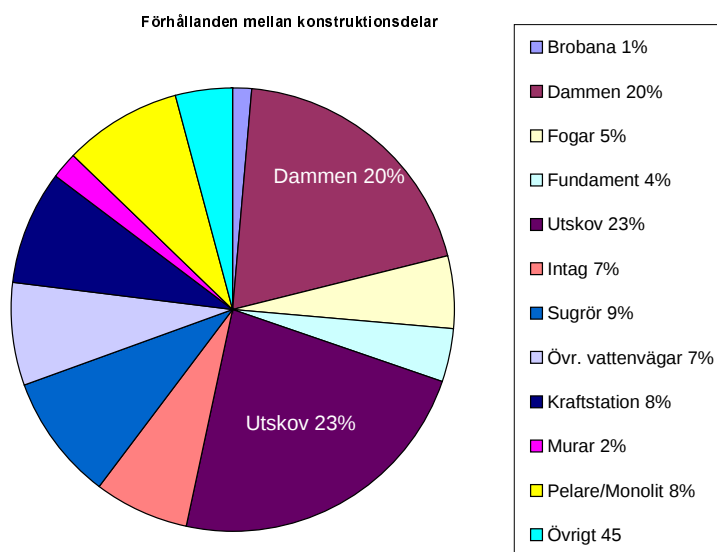


Diagram 2.1.1. Diagrammet visar att åtgärder på vattenkraftens betongkonstruktioner är vanligast på utskov/skibord.

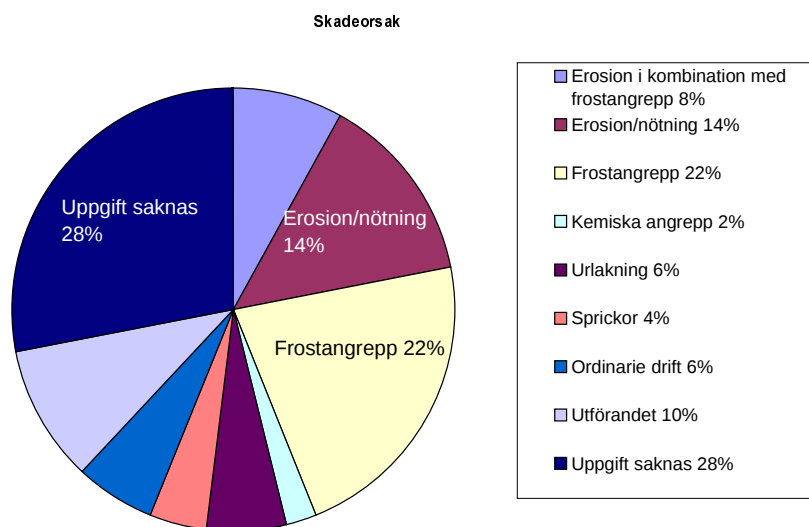


Diagram 2.1.2. Diagrammet visar de skadeorsaker som svenska utskov åtgärdats för.

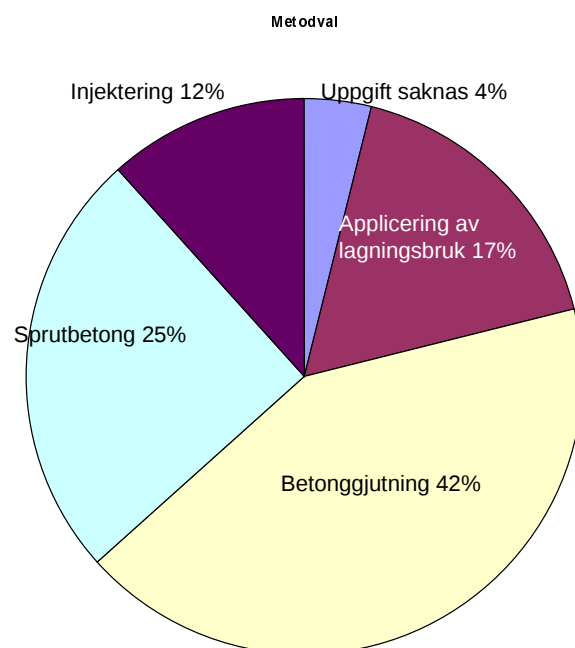


Diagram 2.1.3. Diagrammet visar reparationsmetoder som är vanligast vid reparation av utskov/skibord.

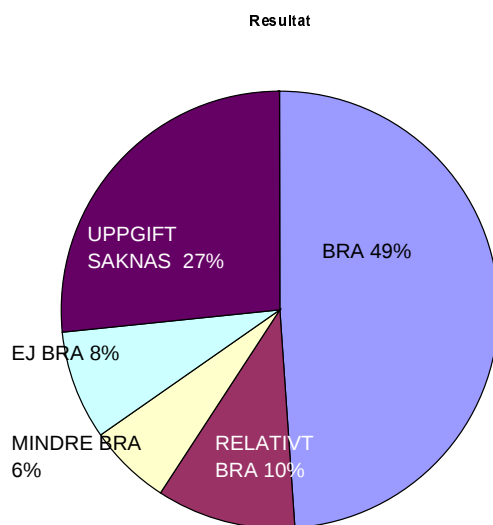


Diagram 2.1.4. Diagrammet visar att de flesta utförda reparationer upplevs av ägarna ha ett bra resultat.

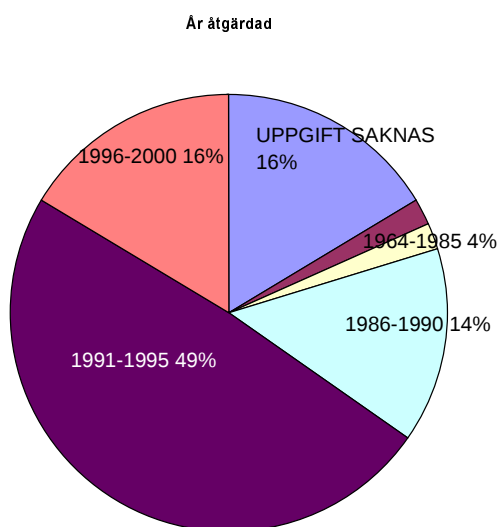


Diagram 2.1.5. Diagrammet visar att del flesta inrapporterade reparationerna är inte äldre än 5-10 år.

2.2 Internationella erfarenheter

Internationell litteratur har sökts³, men rena skibordsreparationer har varit svåra att finna. Ofta har man problem med hela utskovspartierna. Dessutom har många reparationer föreläts av skador där orsaken varit bl.a. omfattande nötningsskador eller

³ Litteratur har främst erhållits från biblioteket hos CBI, som varit behjälplig med databassökning samt lånat ut egen litteratur.

alkaliskiselsyrareaktioner, vilket inte är vanligt bland svenska anläggningar. Fyra av de artiklar som hittats är intressanta för svenska förhållanden samt för att få en bredd i sammanställningen av förekommande reparationsmetoder. Artiklar sammanfattas nedan.

2.2.1 American Concrete Institute

American Concrete Institute [f], har sammanställt 21 reparationer utförda på betongkonstruktioner som är i kontakt med vatten. (All information är från U.S.A.) Information (bakgrund, problem, åtgärd, utförande och diskussion) om varje enskild reparation samt aktuell reparationsmetod beskrivs. Sammanfattning är koncentrerad till skador orsakade av kavitation, mekaniska nötning eller av kemisk nedbrytning.

I U.S.A. är det ett återkommande problem med just erosion/nötning i vattenvägarna, inklusive utskoven och utloppsbangängarna, eftersom man har problem med sediment i sitt vatten. I Sverige har problemet mindre omfattning, men det är ändå av intresse att följa upp deras val av reparationsmetoder.

Kontentan av sammanställningen är att man haft varierande omfattning på skadorna och där olika reparationsmetoder använts. Allt från ny design till mindre ytbehandlingsåtgärder där olika materialtyper använts. En sammanställning av projekten som rör vattenkraftanläggningar visas i **tabell 2.2.1**.

Tabell 2.2.1. Sammanställning av amerikansktprojekt.

Projektnamn	Konstruktionsdel	Orsak (Erosion /nötning)	Reparation	År åtgärdad
Dworshak Dam	Utskov	Kavitation	Stora skador: Armering ersattes, stålfiberarm.betong för utfyllnad. Mindre skador: Impregnering med polymer	1974-75
Glen Canyon Dam	Tunnel utskov	Kavitation	1. Tog bort all lös betong. 2. Fyllde igen stora håligheter med betong. 3. Ny lining i tunneln. 4. Avjämning av övriga ytor. 5. Tog bort material som låg i nedre delen av tunneln. 6. Konstruktion för luftinblandning i vattnet.	1983
Lower Monumental Dam	Monoliter / "Landslide" culvert	Kavitation	Stora skador: Förankrad stålfiberarmerad betong. Mindre skador: Applicering av epoxy produkt Taket: Torrsprutad betong.	1978

Forts. tabell 2.2.1.

Projektnamn	Konstruktionsdel	Orsak (Erosion /nötning)	Reparation	År åtgärdad
Lucky peak Dam	Stålinklätt utskov	Kavitation	Nya pelare, modifiering av luckor och infästningar. Pumpade in nytt bruk bakom stålplattor och nya pelare.	1974
Terzaghi Dam	Utskov (på låg nivå)	Kavitation	Tre kategorier: 1. Reparation av betongskador. 2. Förbättringar för att minska risk för kavitationsskador. 3. Nya luckor och tillhörande utrustning.	1985
Yellowtail Afterbay Dam	Intag och utloppsbygg	Kavitation	Kombination av betong, epoxybetong och epoxy-bonded epoxybruk. (Epoxy var polysulfidmaterial)	1967
Yellowtail Dam	Utskov	Kavitation	Stora skador: högpresterande betong Något mindre skador: Bonded betong Mindre skador: epoxybetong och epoxybruk Delar av tunneln var även målad med poxy-phenolic färg.	1967
Keenleyside Dam	Utskovspelare uppströms	Kavitation	Högpresterande betong och i vidhäftningszon användes epoxy. Delar av ytorna belades med akryl latex.	1990
Espinosa Irrigation Diversion Dam	Utskov/område vid luckor	Sediment i komb. med vatten	Nytt utförande. Stålinklätt istället för betong.	1982
Kinzua Dam	Utloppsbygg	Sediment i komb. med vatten	Betong med silika och lågt vct.	1984
Los Angeles River Channel	Längre betong kanal	Sediment i komb. med vatten	Betong med silika (15%).	1983-85
Nolin Lake Dam	Utloppsbygg	Sediment i komb. med vatten	Högpresterande betong.	1975
Pine River Watershed, Structure no 41	Utloppsbygg och utskov	Sediment i komb. med vatten	Ta bort gammal betong och ersätta med högpresterande.	Förslag 1984
Pomona Dam	Utloppsbygg	Sediment i komb. med vatten	Delvis nytt utförande.	1980-talet
Providence-Millville Diversion Structure		Sediment i komb. med vatten	Betong i botten och i vidhäftningszon användes epoxy eller latex. Ytan belades med metallbruk – förblandning av ballast av metall, portland cement och vattenreducerare.	1986

Forts. tabell 2.2.1.

Projektnamn	Konstruktionsdel	Orsak (Erosion /nötning)	Reparation	År åtgärdad
Red Rock Dam	Utløppsbassäng	Sediment i komb. med vatten	Undervattensbetong med AUV-medel och vattenreducerare.	1988
Sheldon gulch Siphon	Apron and sidewalls	Sediment i komb. med vatten	Rengöring och därefter applicering av polymermodifierad portlandcement, tvåkomponent, snabbhärdande bruk	1991

2.2.2 Konventionell gjutning vid French Paper Dam, Niles, Michigan.

Följande baseras på en artikel från en Energi- och vattenkongress 1997 [g]. Artikeln visar på den typ av omfattande reparationer som ofta återfinns vid sökning i internationell litteratur.

1914 utfördes en större ombyggnad/reparation då en gammal träkonstruktionen ersattes med en betongkonstruktion. Delar av den gamla konstruktionen behölls dock som grund. Den nya betongkonstruktionen var avsedd att tåla de erosionspåfrestningar som blir vid höga flöden. Nedströms anlades ett skikt med grus/sand i syfte att reducera underminering av utskovets nedströmsdelar vid höga flöden.

1974 behövdes åter en större reparationsinsats genomföras. Man fyllde igen underminerade utrymmen under utskovskanten samt ersatte vissa delar av betong. Grusskiktet på nedströmssidan hade eroderats bort och den påföljande undermineringen hade nästan nått till uppströmssidan. Stenar fick läggas dit för att därefter kunna gjuta och injektera utrymmet.

1994 såg man vid en dykning nedströms att underminering åter skett, speciellt vid de ställen som varit sämst 1974. En förstudie genomfördes för att reducera fortsatt underminering. Det som användes vid studien var:

- ❑ 1979 National Dam Safety Program Inspect. Report – vilken redovisade normala och högsta flöden historiskt sett.
- ❑ Anläggningspersonalens utlåtanden om när höga flöden sker samt antalet som bör tas hänsyn till.
- ❑ Antaganden om 100-års flöden.
- ❑ Beräkningar och försök med konstruktionen ifråga som bakgrund för att få veta vilka material som behövs och hur utskovet skulle åtgärdas.
- ❑ Slätskydd

Åtgärder genomfördes under två säsonger, 1995 och 1996. Allt för att kunna färdigställa vid låga vattenflöden (augusti till oktober).

- 1995 – åtgärder mot fortsatt underminering genom erosion med risk för dammras. Man placerade ”groutbags” vid utskovet under botten på konstruktionen. Injektering av en stor och flera mindre sprickor utfördes med krympfri injektering.
- 1996 – uppströms placerades en HDPE-lining över flodbotten ca. 150-170 fot. Först grus/sand 2 fot och därefter HDPE 2 inch.

Artikeln innehöll inga uttalanden om resultatet av åtgärderna.

2.2.3 Vältbetong - ”Roller Compacted Concrete”

Följande sammanfattar en artikel om vältbetong från tidskriften Engineer Structures, 1999 [h]. Vältbetong är normalt sett en oarmerad beläggning av betong med jordfuktig konsistens som packats med vibrerande vält [i]. Dess tryckhållfasthet motsvarar minst K40 och den är beständig mot frost i mycket betongaggressivmiljö och har hög slitstyrka. Fördelarna är den höga utläggningskapaciteten, ytan tål att belastas tidigt och stör därför ej övrig produktion på arbetsplatsen dessutom föreligger litet behov för fogar p.g.a. låg krympning. Nackdelarna är att det är känsligare för avvikelser i utförandet samt för att erhålla hög ytjämnhet och hög funktion behövs speciell utrustning. Erfarenheterna för denna metod är av intresse för Svenska förhållanden med tanke på framtida förstärkning av jorddammar.

För att få bättre kunskap om metoden med Roller Compacted Concrete (vältbetong) bestämde 1997 the Jordan Water Authority att reparera grundläggningen kring utskovet vid dammen Sama El-Serhan. Huvudsyftet var, förutom att reparera, att utvärdera RCC-metoden och där material från området skulle användas.

Dammen ligger 15 km norr om Mafraq City i Jordanien och är en mindre jordfyllningsdamm med betonginklädnad på uppströmssidan. Höjden är 10 meter och krönet är ca. 120 meter långt. Erosionsskador förekommer vid utskovet och har orsakats av översvämningar de senaste åren, vilket är även lätt till åtgärd.

Arbetet utfördes i tre delar. Den första delen bestod av ett proportioneringsarbete av materialdelarna i laboratoriet. Andra delen var själva konstruktionen för att säkerställa utskovet ifråga.

Tredje delen var fältprovning med kontroll och utvärdering av blandning, transport, gjutning och vibrering av betongen. Detta inkluderade provning av tryckhållfasthet, draghållfasthet, elasticitet, densitet, temperaturutveckling och permeabilitet. Uppmätta värden uppfyllde alla tekniska krav som ställts och betongen har uppfört sig som tänkt.

Material

- Ballast: Naturlig puzzolan quarried från Tel-Alremah i nordöstra delen av Jordanien.
- Cement: Pozzolan (10-15%) portland Cement (ASTM C595, typ IP) tillverkat i Jordanien

Resultat – genomförandet gav god erfarenhet på området och anses komma till stor nytta inför fortsatta projekt i Jordanien. För Sverige vore det intressant att studera metoden närmare med tanke på höga vattenflöden och ökade krav på vad våra jorddammar ska klara av.

2.2.4 Åtgärd efter AKR-skada vid Friant Dam, San Joaquin River, California, U.S.A.

Artikeln visar på en typ av arbetsmetod som kan vara av intresse för svenska förhållanden.

Dammen färdigställdes 1942 och utskovet består av en översvallningsdel samt utloppsbyggning, allt beläget mitt på dammen. Betongen var i gott skick fram till en inspektion 1968 [j] då sprickor upptäcktes på dammkrönet. 1974 förstod man att dessa sprickor orsakades av alkalisk-syrareaktioner. Störst problem fanns vid utskoven med problem att manövrera luckorna.

De åtgärdsalternativ man övervägde var följande:

- ❑ Åtgärda luckan för att möjliggöra justeringar allt eftersom betongen expanderar.
- ❑ Öppna rörelsefogar i dammen för att möjliggöra fortsatt expansion av betongen utan att påverka utskovet.
- ❑ Ny lucka, som klarar av att ta upp de expansioner som pågår i betongen.
- ❑ Ny konstruktion av utskovet och skiborden med nya betong.

Efter utvärdering av de olika alternativen, med hänsyn till kostnad, livslängd, tillförlitlighet, grad av förbättring, risken för vandalisering samt motståndskraft mot yttre belastning, beslöts att åtgärda mittenluckan och ersätta de två yttre luckorna. Betongen åtgärdades således inte vid detta tillfälle.

Slutsatsen blir här att det kan vara ekonomiskt lönsamt att förbättra luckorna istället för att åtgärda problem i betongen så länge betongens funktion inte äventyras.

3 Uppföljning av tre genomförda skibordreparationer

I projektet har det ingått att studera och följa upp tre genomförda skibordsreparationer. Detta för att dokumentera resultatet efter en viss tids användning samt i möjligaste mån utvärdera metoderna.

Skiborden studerades genom:

- ❑ Besiktning – titta, bomknacka, sprickviddsmäta samt diskutera med ansvariga.
- ❑ Dokumentation – fotografera, ta ut prover, kontakt med anläggningsansvariga, entreprenör, kontrollanter etc. samt söka i befintliga dokument (där detta finns att tillgå).
- ❑ Provtagning – vidhäftning på plats eller i betonglaboratoriet (beror på pågjutningens tjocklek och utrustningens begränsningar att ”greppa” denna), utbörning av kärnor för besiktning och provning av tryck och frost i sötvatten. Se valda provningsmetoder sammanställs i **tabell 3.1**.

Tabell 3.1. Valda provningsmetoder.

Provning	Metod	Rekommenderat resultat
Tryckhållfasthet	SS 13 72 30	Enligt bygghandlingar.
Frostbeständighet	SS 13 72 44	Acceptabelt el. bättre. ⁴
Vidhäftning alt. draghållfasthet	SS 13 72 43 alt. SS 13 72 31	Brott i gamla betongen alt. ca. 1,5 Mpa.

Valet av objekt har gjorts genom diskussion inom forskargruppen vid Vattenfall Utveckling samt sökning i reparationsdatabasen [e]. En förutsättning var att tre olika reparationstyper skulle studeras och objekten valdes efter hur god tillgång på uppgifter från reparationen var, samt tillgänglighet på plats. Valet föll på Edsvalla kraftstation ägd av Birka Energi AB samt Ligga och Lasele kraftstation ägd av Vattenfall AB.

3.1 Edsvalla kraftstation

Edsvalla kraftstation, längs Klarälven några mil norr om Karlstad ägs av Birka Energi AB och valdes eftersom olika typer av reparationsmetoder utförts på de fyra skiborden vid ett och samma tillfälle 1992. En densitlagning⁵, en sprutbetonglagning innehållande glasfibrer, en konventionell lagning genom gjutning samt en sprutbetonglagning utan fibrer. Syftet med att reparera på detta sätt var just för att man senare skulle kunna följa upp och utvärdera resultaten.

⁴ Frostbeständighet mäts i mängden avskalad betong per cm². Nivåerna är från mycket god (<0,1 kg/cm² vid 56 dygn), god ($m_{56d} < 0,5$ kg/cm² och $m_{56d}/m_{28d} < 2$), acceptabel ($m_{56d} < 1,0$ kg/cm² och $m_{56d}/m_{28d} < 2$) till icke acceptabel (ej godkänd som acceptabel) [k].

⁵ Densit är ett cementbaserat torrbruk. En tät mikrostruktur bestående av cement och silika samt tillsats av kvarts/kvartsit eller korundhaltig kalcinerad bauxit [e].

En första kontakt med ägarrepresentant gjordes under våren 2000 och besök genomfördes i augusti. Utförande av besiktning på plats var Emma Björkenstam. För utbörningen av kärnor anlätades Kjell Öberg från NCT. Boring utfördes med 70 mm krona. Vidhäftning provades på plats där det var praktiskt möjligt, annars skedde provningen i betonglaboratoriet i Älvkarleby (dragprov i mätrigg). Lagning av borrhålen utfördes med Bemix reparationsbruk.

Tabell 3.1.1. Edsvall kraftstation - Tekniska data

Tekniska data	
Byggår:	1950
Typ av anläggning:	Ovanjordsanläggning
Kapacitet:	Kaplanturbiner ger ca. 6,3 GWA/år

Tabell 3.1.2. Edsvall kraftstation - Information om reparation

	Skibord A	Skibord B	Skibord C	Skibord D
Reparationsår:	1992			
Skada (typ och orsak): (iakttagelse 1991)	Ytorna hade betongskador med rostig armering orsakade av frostangrepp.			
Förutsättningar vid reparation:	Bra, reparation utfördes i maj till juni.			
Typ av reparation:	Lagningsbruk på sprutbetong	Sprutbetong	Konventionell gjutning	Sprutbetong
Metod:	Applicering	Torrspjutning	Gjutning med form	Torrspjutning
Materialval:	Densit	Sprutbetong 0-8 mm med glasfibrer	K40 betong	Sprutbetong 0-8 mm
Förarbeten:	All lös betong bortbilades med handhållen maskin. Ytan sandblästrades därefter och tvättades med vatten.			
Efterarbeten	Vattenhärdning			
Kontroll och provtagning	Besök på arbetsplats, inga synliga skador sågs.			
Resultat: (1992)	Bra, enligt entreprenör			
Entreprenör:	Stabilator, Torsby			
Beställare:	Dåvarande Gullspång Kraft AB numera Birka Energi AB			

3.1.1 Resultat från besiktning och provtagning

Besiktning genomfördes 18/8. Nedan följer en beskrivning av de iakttagelser som gjordes rörande utskoven, se även bild 3.1.1. (Med på plats var även en representant från kraftbolaget.) Samtliga provresultat har sammanställts i tabell 3.1.3, se sida 19.



Bild 3.1.1. Utskovet vid Edsvalla kraftstation – fr.v. skibord A, B, C och D.

Den övre delen på varje skibord, alldeles under luckorna, har inte åtgärdats under 90-talet då utskoven pågjöts, eftersom det inte ansågs nödvändigt.

Skibord A:

Tre fjärdedelar av ett skibord är densitbelagt. Lagningen ser bra ut och ingen bom förekommer. Dock förekommer läckage ifrån luckorna, vilket gör att ytan är täckt av alger och mossor. Endast en mindre skada kunde skönjas på ytan. Skibordet är indelat i två delar där fogen har varit fylld med fogmassa, som nu nästan helt är borta.

- Tre kärnor borrades ut. Okulärt såg det bra ut.
- Vidhäftning utfördes i betonglaboratoriet.

Skibord B:

Ett och ytterligare en fjärdedel av ett skibord är belagt med sprutbetong innehållande glasfibrer. Över hela skibordet har mindre stenar från sprutbetongen lossnat vilket ger en någon ojämn yta, men inget bom kunde upptäckas.

Skibordet är indelat i två delar där fogen har varit fylld med fogmassa, som nu nästan helt är borta, med detta ser inte ut ha lett till några följdskador i dagsläget.

Övriga iakttagelser:

1. I skarvar och fogar har sprutbetongen i vissa fall släppt något på vissa ställen.

2. Vid anslutning till skibord C finns en spricka på 0,4 mm.
 3. På den delen av skibord B som gränsar mot skibord C finns ursparningar utformade som fyrkanter. Vid dessa förekommer en del släpp av sprutbetongen och på något ställe bom.
- ☐ Tre kärnor borrades ut.
 - ☐ Vidhäftning utfördes i betonglaboratoriet.



Bild 3.1.2. Fog mellan densit och sprutbetong – skibord A-B.

Skibord C:

Ett skibord är pågjutet på konventionellt sätt. Troligen är det en igengjutning av ett tidigare flottningsutskov. Inget bom kunde upptäckas vid bomknackning. I nedre delen av skibordet syntes skador efter gjutning där man fått luftbubblor, vilket ger betongen en ojämn yta. Dock har detta i dagsläget inte lett till några följdskador, men det ser sämst ut av de fyra studerade skiborden. Skibordet är inte delat i två delar genom fog och fogmassa utan hela ytan är gjuten.

Övriga iakttagelser:

1. Det förekommer mindre omfattning av ytavskalning på nedre delen av skibordet. Det är dock svårt att avgöra om detta orsakats av problemet med form och luftbubblor vilket beskrivits ovan.
- ☐ Tre kärnor borrades ut.
 - ☐ Vidhäftning på plats.

Skibord D:

Ett skibord är belagt med sprutbetong. Över hela skibordet har mindre stenar från sprutbetongen lossnat vilket ger en någon ojämn yta. Luckorna läcker och hela skibordet är vått.

Skibordet är indelat i två delar där fogen har varit fylld med fogmassa, som nu nästan helt är borta. Dock ser det inte ut som detta har lett till några följdskador i dagsläget. Vid utborrning av kärnor kunde man se att vidhäftning ej fanns över hela anslutningsytan.

- Tre kärnor borrades ut, där viss skiktning kunde ses i sprutbetongen.
- Vidhäftning i laboratoriet.

Tabell 3.1.3. Edsvalle kraftstation - Provresultat.

	Skibord A	Skibord B	Skibord C	Skibord D
Reparationsmaterial	Densit	Sprutbetong 0-8 mm med glasfibrer	K40 betong	Sprutbetong 0-8 mm
Besiktning kärnor	Såg bra ut	Såg bra ut	Såg bra ut	Skiktningar i sprutbetongen.
Tryckhållfasthet	40 MPa (underlagsbetong)	Uppgift saknas ^B	40 MPa (underlagsbetong)	Uppgift saknas ^B
Vidhäftning/drag	1,5 samt 2,4 MPa Brott i gamla betongen	1,15 MPa Brott i gamla betongen.	För tjock pågjutning för att kunna borra ut och provdra.	1,23 samt 0,95 MPa Brott i gamla betongen.
Frostbeständighet	Uppgift saknas ^A	2,30 kg/m ² (Icke acceptabel) ^C	0,06 kg/m ² (Mycket god)	Uppgift saknas ^A

^A Uppgift saknas eftersom antalet kärnor var begränsat.

^B Uppgift saknas eftersom pågjutningen var för tunn.

^C Enligt laboratoriepersonal var det sprickanvisningar i provkroppen.

3.2 Ligga kraftstation

Ligga kraftstation, längs Luleälven några mil söder om Porjus ägs av Vattenfall AB och valdes eftersom en lagning med pågjutning och efterföljande vakuumbehandling genomförts 1991, se bild 3.2.1. Vid detta tillfälle deltog en representant från Vattenfall Utveckling AB, vilket resulterade i en rapport [c]. Därefter har ytterligare två skibord lagats med samma metod, 1994 och 1997. Alla tre reparationerna studerades här närmare.

En första kontakt med ägarrepresentant gjordes under våren 2000 och besök genomfördes i september. Utförande av besiktningen var Emma Björkenstam, Vattenfall Utveckling AB. För utborrning av kärnor anlätades Ralf Forsten och Göran Alsterlind från SwedPower AB. Borring utfördes med 70 mm krona och där vidhäftning provades på plats. Lagningen av borrhål utfördes med Optiroc reparationsbetong 0-12 mm.



Bild 3.2.1. Utskov vid Ligga kraftstation – fr.v. skibord A, B och C.

Tabell 3.2.1. Ligga kraftstation - Tekniska data

Tekniska data	
Byggår:	1954
Typ av anläggning:	Underjordsanläggning, stenfyllnadsdamm längd 490 m, höjd 35 m, uppdämd volym ca. $4 \times 10^6 \text{ m}^3$
Kapacitet:	2 kaplanturbiner, installerat 170 MW, medelflöde $277 \text{ m}^3/\text{sek}$, spill $2200 \text{ m}^3/\text{sek}$.

Tabell 3.2.2. Ligga kraftstation - Information om reparation

Skibordsreparation	Skibord A	Skibord B	Skibord C
Reparationsår:	1994	1997	1991
Skada (typ, orsak)	Avskalning p.g.a. sönderfrysning.		
Förutsättningar vid reparation:	Bra.	Inte så bra, mycket varmt och soligt.	Bra, reparationen utfördes i september.
Typ av reparation:	Konventionell gjutning med kantform och avjämning av ytan.		
Metod:	Konventionell gjutning m.h.a. vibratorbalk. Flera gjutetapper.		
Materialval:	Betong: K40, vct 0,5, stenmax 32 mm, sättmått 60-70 (150) mm. Några armeringsjärn byttes ut eftersom korrosion förekom.	Betong: K40, vct 0,5, stenmax 32 mm, sättmått 60-70 (150) mm. Ingen armering.	
Förarbeten:	Vattenbilning, högtryckstvätt		
Efterarbeten:	Vakuumbehandling, stålglättning, täckning med plast i 4 dygn, vattenbegjutning efter 1 dygn.	Vakuumbehandling av någon del (p.g.a. värmen kunde endast delar av skibordet behandlas), stålglättning, täckning med plast i 4 dygn, vattenbegjutning efter 1 dygn.	Vakuumbehandling, stålglättning, täckning med plast i 4 dygn, vattenbegjutning efter 1 dygn.
Kontroll och provtagning:	Kontrollant från Hydropower. (Göran Alsterlind)	Kontrollant från Hydropower. (Göran Alsterlind)	Kontrollant från Hydropower. (Lars Rådström)
Resultat: (iakttagelse 2000)	Bra	Krympsprickor förekommer över stora delar av ytan.	Bra, några fåtal sprickor.
Entreprenör:	Uppgift saknas		
Beställare:	Vattenfall AB		

3.2.1 Besiktning och provtagning

Besiktning genomfördes 29/9 vid Ligga kraftverk. Med på plats var även Göran Alsterlind (kontrollant vid reparationerna på skibord A och B). Nedan följer resultatet av de iakttagelser som gjordes rörande skiborden.

I den övre delen på varje skibord, alldeles under luckorna, utfördes under 70-talet en större pågjutning i samband med att luckorna höjdes cirka en meter. Dessa delar åtgärdades alltså inte under 90-talet då utskoven pågjöts.

Skibord A:

Skibordet ser bra ut som helhet med jämna ytor med enbart ett fåtal sprickor. Detta skibord diamantslipades efter avslutning vilket gör att ballast är synlig på ett flertal ställen. Detta gjordes eftersom ytan var något ojämn. Pågjutningen i övrigt är något ojämn med hänseende till gjuttjocklek. Därav valdes att ta ut borrhärdar på en sådan plats där man visste att aktuell borrhärd skulle nå ner till underliggande betong.



Bild 3.2.2. Nedre delen på skibord A.

Övriga iakttagelser:

1. Borrningar har gjorts tidigare, troligtvis vid slutbesiktning efter avslutad reparation.
2. Ett fåtal spricka finns på ca. 0.1 mm.

- ☐ Tre kärnor borrades ut.
- ☐ Alla kärnor fick brott i vidhäftningszon.



Bild 3.2.3. Borrkärnor från utskov A.

Varje borrning avslutades p.g.a. att armering stötts på. Ingen armering ska finnas i pågjutningarna.

Skibord B:

Detta reparationsarbete utfördes en varm dag då det vid luckorna uppstod som en het vägg, vilket fick vissa konsekvenser för resultatet. Delar av betongen hade härdat då det var dags för vakuumbehandling varvid vakuumbehandlingen delvis fick tas bort eller utfördes i mindre omfattning. (Dessa delar togs inga borrhärdar p.g.a. tidsbrist.) Ytorna har även en hel del sprickbildning och de ytor som ej vakuumbehandlades är värst utsatta.

Gjutningen påbörjades nerifrån och upp och därmed fick varje ny sektion stöd av den nygjutna.

Övriga iakttagelser:

1. Något parti är gropigt och ilagat (frostsador).
2. Sprickor finns över hela överdelen till och från, troligen p.g.a. värmen. 0.1 och 0.3 mm.
3. Skada, träbit kvar från form.
4. Ljusa färgskiftningar som mindre fläckar.



Bild 3.2.3. Färgskiftningar i ytan.



Bild 3.2.4. Färgskiftningar i ytan.

- Fyra kärnor borrades ur, där några borrades över sprickor.

- Kärnorna gick av ca. 5 cm under ytan eller i vidhäftningszon.



Bild 3.2.5. Kärnor, vy ovanifrån.



Bild 3.2.6. Kärnor, vy från sidan.

Provningsen visar att det finns ett övre skikt i betongen som är dåligt eftersom brott sker i den nya betongen vid vidhäftningsprov.

Skibord C:

Detta skibord gjöts i samband med ett forskningsprojekt varvid dokumenteringen var noggrann, se Vattenfall Utvecklings rapport [h]. Överlag förekommer en del sprickor.



Bild 3.2.7. Skibord C.

Övriga iakttagelser:

1. Borrkärnor har tagits ut vid ett tidigare tillfälle, troligtvis i samband med slutbesiktning.
2. Sprickor med kalkutfällningar förekommer.
3. Sprickvidden varierar mellan 0,2 mm till 0,3 mm.
4. Områden förekommer med avnötning, betongkvalitén verkar vara ojämn.
5. Det förekommer en spricka mitt på skibord.



**Bild 3.2.8. Göran Alsterlind och Ralf Forsten,
SwedPower AB provar Vidhäftning.**



Bild 3.2.9. Spricka i skibord.

Tabell 3.2.3. Ligga kraftstation - Provresultat.

	Skibord A	Skibord B	Skibord C
Reparationsmaterial	Betong, vakuumsuget	Betong, vakuumsuget	Betong, vakuumsuget
Besiktning kärnor	Såg bra ut.	Såg bra ut.	Såg bra ut.
Tryckhållfasthet	45 MPa	53 MPa	50 MPa
Vidhäftning/drag	2,1 MPa	2,1 MPa 0,4 MPa vid prov över spricka.	2,6 MPa
Frostbeständighet	0,07 kg/cm ² (mycket god)	0,05 kg/cm ² (mycket god)	0,05 kg/cm ² (mycket god)

3.3 Lasele

Lasele kraftstation, längs Ångermanälven 3 mil norr om Sollefteå ägs av Vattenfall AB och valdes eftersom en lagning av ett skibord utförts 1995 med Chesterton⁶. Chesterton anses vara ett av de vanligaste lagningsbruken, bland många andra, som finns på marknaden.

En första kontakt med ägarrepresentant gjordes under hösten 2000 och besök genomfördes i oktober. Utförande av besiktning på plats var Emma Björkenstam, Vattenfall Utveckling AB. För utborrningen av kärnor anlätades Kjell Öberg från NCT. Borring utfördes med 70 mm krona och där vidhäftning inte kunde provas på plats p.g.a. pågjutningen endast var 6-10 mm (för tunt skikt för att kunna använda portabel utrustning). Lagning av borrhålen utfördes med Sika fiberbruk.

⁶ Chesterton består i huvudsak av kvartsförstärkt polymerkomposit där bindemedel är cement alt. epoxy [e].



Bild 3.3.1. Utskoven vid Lasele kraftstation – fr.v. skibord A, B och C.



Bild 3.3.2. Skibord C.

Tabell 3.3.1. Lasele kraftstation - Tekniska data

Tekniska data	
Byggår:	1957
Typ av anläggning:	Underjordsanläggning, stenfyllnadsdamm längd 430 m, höjd 25 m, uppdämd volym ca. $4 \times 10^6 \text{ m}^3$
Kapacitet:	2 kaplanturbiner ger ca. 610 GWh/år, medelflöde $175 \text{ m}^3/\text{sek}$, spill $1700 \text{ m}^3/\text{sek}$.

Tabell 3.3.2. Lasele kraftstation - Information om reparation

Skibordsreparation	Skibord A (delar av)	Skibord C
Reparationsår:	1995	
Skada (typ och orsak)	Lokala skador (frostsprängning) har uppkommit där "skönhetsvattnet" (för vattenspegel nedströms) släppts från 4-5m höjd under en längre tid.	Omfattande frost och rostsprängning med efterföljande erosionsskador. Detta förekom även på utskovsväggarna.
Förutsättningar vid reparation:	Bra, reparation utfördes i augusti.	
Typ av reparation:	Reparation med lagningsbruk.	
Metod:	Manuell applicering med murslev genom att lägga på ett skikt av 20 mm. Större skador lades i separat vilket gav en jämn yta innan ett skikt lades över hela ytan.	
Materialval:	Utskovs väggar (ca. 2 m upp): Chesterton ARC 791 V Skibordet: Chesterton ARC 790 H	
Förarbeten:	Vattenfräsning med maskin uppriggad på hjul, 3-5 mm togs bort. Handhållen blästerpistol på grövre skador, upp till 10 cm togs bort (till armering).	
Efterarbeten	Ingen.	
Kontroll och provtagning:	Slutbesiktning i september 1995 då vidhäftningsprov gjordes. På plats fanns Vattenfall Vattenkraft (Per-Gunnar Ahlström), Hydropower (Göran Alsterlind) och NIU. Draghållfasthet för skibord A var i medeltal 0,98 MPa och för skibord C 0,87 MPa (samtliga i gamla betongen) Tjocklek i medeltal var för skibord A 17 mm och för skibord C 9 mm.0	
Resultat:	Bra.	Relativt bra, delar som lossnat i nedre delen av skibordet vid fog. Orsak anses vara dålig vidhäftning p.g.a. dålig underbehandling.
Entreprenör:	Norrlands Industri Utveckling (NIU) hade arbetsledare på plats medan arbetet i huvudsak utfördes av egen Vattenfallpersonal.	
Beställare:	Vattenfall Vattenkraft AB	

3.3.1 Besiktning och provtagning

Besiktning genomfördes 10/10. Nedan följer en beskrivning av de iakttagelser som gjordes rörande utskovet.

Begränsningar:

Enbart skibord C besiktades p.g.a. att driftcentralen ville ha möjlighet att spilla vatten genom resterande utskov. Skibord C är brant vilket bidrog till att ingen besiktning av hela ytan kunde genomföras. Varken dokumentation eller bomknackning. Dessutom kunde ej nedre delen bestigas eftersom påsläpp kunde ske under dagen då vattennivån nedströms höjs märkvärt.

Skibord C:

Skibordet ser bra ut i sin helhet. Dock förekommer ett krackeleringsmönster över hela skibordsytan, men där sprickvidden får anses som ringa. Applicering av Chesterton är utförd i tvärgående fält med bredden ca. 0,6 m.



Bild 3.3.3. Kjell Öberg, NCT, borrar ut kärnor.

Övriga iakttagelser:

1. Läckage från lucka.
2. Fog i mitten utan fogmassa.
3. Lagningar på utskovspelarna på båda sidor om skibordet är lagade med Chesterton.
4. Borrhål syns där tidigare provtagning är utförd, längst ned på utskovet.
5. Skador i fogen till nederdelen av skibordet. Kan bero på dåligt underarbete. (Detta området kunde dock ej besiktas vid tillfället p.g.a. tidigare nämnda omständigheter.)



Bild 3.3.4. Nedströms.



Bild 3.3.5. Fog mitt på skibord.

Kommentarer kring utborrade kärnor:

- Två provplatser valdes ut där sammanlagt 6 st. kärnor togs ut för utvärdering.
- Kärnorna som togs ut var pågjutna till 6,5 – 10,0 mm.



Bild 3.3.6. Borrkärnor.

Tabell 3.3.3. Lasele kraftstation - Provresultat.

Skibordsreparation	Skibord C
Reparationsmaterial	Chesterton
Besiktning kärnor	Lagningsbruket ser "poröst" ut. Den gamla betongen ser bra ut.
Tryckhållfasthet	Uppgift saknas ^A
Vidhäftning/drag	0.6, 0.9 & 2.0 MPa
Frostbeständighet	0,05 kg/cm ² (mycket god)

^A Kunde ej provas eftersom pågjutningen var så pass tunn.

4 Analys

I rapporten har ett flertal olika reparationsmetoder för utskov/skibord studerats – mer eller mindre ingående. För att få en bättre överblick av nyttan med denna sammanställning görs här en kortare genomgång och utvärdering för varje metod.

Konventionell gjutning

Konventionell gjutning är den vanligast förekommande reparationsmetoden enligt den databas (se kapitel 2.1.3 diagram 2.1.3) som finns hos Vattenfall Utveckling AB. Reparationsmetoden används främst vid reparation av hela skibord/utskov där skadan och åtgärden har varit omfattande. Metoden i sig är väl använd och erfarenheterna får anses som goda.

Vid en uppföljning av metoden i fält (Edsvalla kraftstation, se kapitel 3.1) besiktades en reparationen där metoden använts. Gjutning med klätterform har resulterat i mindre gjutskador i form av luftblåsor vilket av författaren upplevs som relativt vanligt. Detta har lett till viss betongavskalning, men inte i någon större omfattning. Provtagning visade på god hållfasthet (K40) och mycket god frostbeständighet. Vidhäftning gick ej att kontrollera eftersom pågjutningen var för tjock.

Konventionell gjutning med vakuumsugning

En efterföljande vakuumsugning efter konventionell gjutning förekommer i mindre omfattning på svenska kraftanläggningar [e] varvid erfarenheterna inte är så omfattande. Den gjutning som genomfördes i ett forskningsprojekt 1991 (Ligga kraftstation, se kapitel 2.1.1. samt 3.2) visade sig vid uppföljning ha en del sprickor i ytan. Dessa sprickor förekommer i mer eller mindre omfattning på alla tre skibord. (Tre skibord reparerades under 90-talet med samma metod.) En efterföljande vakuumsugning ska enligt litteratur [i] motverka just sprickbildning, vilket härmed får ifrågasättas. Troligtvis kräver metoden en hel del kontroll vid utförandet och vid den efterföljande hårdningen. Trots dessa nämnda sprickor (sprickdjup var på sina ställen ca. 5 cm och bredden 0,1 till 0,3 mm) har skiborden i Ligga god hållfasthet (ca. K45) och en mycket god frostbeständighet. Vidhäftning var god förutom då detta provades över spricka då brott skedde vid 5 cm, sprickdjup.

Sprutbetong - Torrsprutning⁷

Sprutbetong som reparationsmetod är den näst vanligaste metoden vid utskovs/skibords reparationer (se kapitel 2.1.3 diagram 2.1.3) [e]. Erfarenheten är med andra ord relativt omfattande, men det har visat sig vid uppföljning i fält att resultaten har varit av skilda slag (se kapitel 2.1.2 samt kapitel 3.1). I Hölleforsen (reparation 1990) var resultatet mycket dåligt och ny reparation har därefter utförts [c, e]. I Nämforsen och Stadsforsen var resultatet i stort sett bra [d]. Meningen var att Hölleforsen och Stadsforsen skulle följas upp i detta projekt men höga vattenflöden medgav inte detta. Däremot studerades två skibord i Edsvalla där resultatet skulle vara gott enligt entreprenören. Det ena skibordet var belagt med sprutbetong innehållande glasfibrer medan det andra var

⁷ Reparationer med våtsprutning har inte studerats i fält.

vanligt sprutbetong. Där visade det sig efter provtagning av det skibord som var belagts med glasfiberarmerad sprutbetong hade god vidhäftning men icke acceptabel frostbeständighet (vilket kan bero på sprickanvisning i provkropp, se kapitel 3.1). På det andra skibordet fanns inte vidhäftning över hela gränsskiktet – skiktningar förekom i sprutbetongen.

Resultatet av dessa iakttagelser i fält pekar på att utförandet är av stor vikt samt att anlita entreprenör ska ha god materialkännedom och praktisk erfarenhet. I övrigt är metoden bra lämpad för stora och små reparationer.

Lagningsbruk

Den tredje vanligaste reparationsmetoden [e] är applicering⁸ av lagningsbruk på både stora och små ytor. Erfarenheterna är därmed många, men samtidigt spridda eftersom det på marknaden förekommer ett stort antal lagningsbruk [1]. De bruk som studerats i fält är Densit och Chesterton (Edsvalla kraftstation kapitel 3.1 respektive Lasele kraftstation kapitel 3.3).

Densitetens funktion är att betongytan ska få en hög hållfasthet och därmed god nötningsbeständighet. Uppföljning i fält, Edsvalla kraftstation, antydde även att så är fallet. Vidhäftningen mot underlaget var god. (Ingen kontroll av hållfastheten eller frostbeständigheten kunde ske eftersom pågjutningen var så tunn.) Helhetsintrycket såg mycket bra ut.

Chesterton⁹ är ett vanligt förekommande lagningsbruk, som finns på många av våra svenska vattenkraftanläggningar [e] - erfarenheterna är därmed många. Vid uppföljning i fält (Lasele) såg skibordet i stort sett bra ut. (Bl.a. noterades ett mindre krackeleringsmönster i ytan, men som inte verkade ha någon direkt inverkan på beständigheten.) Provtagning visade på varierande vidhäftning (0.6, 0.9 och 2.0 MPa med brott i vidhäftningszon, (rekommenderade värden är >1.5 MPa alt. brott i gamla betongen). Hållfastheten kunde ej provas eftersom pågjutningen var så pass tunn (6.5 – 10.0 mm). Frostbeständigheten var mycket god.

Metoden att laga med något av marknadens lagningsbruk får anses som bra då utförandet är rätt och då materialvalet är relaterat till reparationens omfattning.

4.1 Analys av internationella reparationsmetoder

De internationella erfarenheterna är av intresse för svensk kraftindustri i den aspekten att nya metoder och reparationstekniker (RCC – vältbetong) används samt att de reparerat skador som inte är så vanliga i svenska förhållanden, men som för framtiden kan vara av nytta. Skador som kan nämnas är alkalikiselreaktioner samt stora kavitationsskador. Dessutom kan de arbetssätt man använt sig utav vara av intresse – arbetsmodeller – hur man kommer fram till rätt reparationsmetod. (Det senare behandlas dock inte i denna rapport.)

⁸ Lagt på förhand. Ej använt maskin.

⁹ Förekommer som epoxibaserat samt cementbaserat med plastmodifiering.

5 Slutsats och rekommendationer

Syftet med projektet att sammanställa erfarenheter vad gäller reparationer på utskov/skibord får anses som uppfyllt. I rapporten finns det ett antal olika förslag på reparationer som kan vara till hjälp inför en upphandling och val av reparationsmetod. Projektet visar även att ett fortsatt arbete inom detta område är nödvändigt eftersom de reparationer som finns inte är av så hög ålder (5-10 år). En reparation förväntas ha en livslängd på minst 25 år varvid det inte ska ha hänt särskilt mycket under de första 10 åren.

Efter att ha studerat litteraturen, befintlig databas samt följt upp reparationer i fält har följande slutsatser dragits:

Slutsatsen av projektet blir:

- ❑ De flesta reparationer på utskov är inte äldre än 5-10 år om man ser till inrapporterat material i databasen. (En reparation beräknas ofta hålla i minst 25-30 år.)
- ❑ Det är svårt att peka ut någon reparationsmetod som är bättre än någon annan då eventuella brister kan bero på utförandet likväl som val av metod. Dessutom påverkas valet av reparationsmetod av hur stora ytor som ska repareras (t.ex. konventionell gjutning kontra lagningsbruk).
- ❑ Av de skibord som studerats har brister vid utförandet ändå inte resulterat i några större skador i dagsläget.
- ❑ Fogar är viktiga vad gäller utförandet, val av material etc. Det är ofta här som skador uppkommer. Ämnet kräver dock en fortsatt utredning då erfarenheterna är begränsade.
- ❑ Viktigt att utnyttja de erfarenheter som finns inom området. Kompetens finns t.ex. inom Vattenfall Utveckling AB.

För att ytterligare få information och utöka ”erfarenhetsbanken” om de reparationer som utförts på våra utskov/skibord är det av vikt att återkommande följa upp dem. Detta kan på ett enkelt sätt göras genom att kontinuerligt uppdatera den databas som Vattenfall Utveckling AB byggt upp på uppdrag av Elforsk. (Databasen innehåller över 200 betongreparationer utförda på våra vattenkraftanläggningar.) Målet är att databasen skall finnas tillgänglig genom Internet.

5.1 Rekommendationer till beställare

Rekommendationer till beställare är:

- ❑ Då större reparationer över hela skibord ska utföras bör rationella metoder som konventionell gjutning eller sprutbetong användas. Erfarenheterna av dessa är många och utnyttjas dessa erhålls ett gott resultat.
- ❑ Mindre reparationer kan med fördel utföras med något lagningsbruk. När dessa produkter används behöver inte ytan alltid vattenbilas utan det räcker ofta med högtryckstvätt. Därefter läggs materialet på för hand och ytan jämnas av och härdas. Se bara till att välja en produkt som är anpassad för ändamålet. Förekommer det

osäkerhet om en produkt har en viss önskad egenskap, be tillverkaren förprova (praktiska försök i laboratorium) alternativt välj en annan produkt. Mer information finns i Elforskrapport "Sammanställning av materialdata för lagningsbruk" [1] samt i "Lagningsbruk – önskade bruksegenskaper och provningsprogram för att kontrollera dessa" [m].

- Omfattande reparationer kan även utföras genom att applicera något lämpligt lagningsbruk då tillgängligheten, konstruktionens utformning, gynnar detta arbetssätt. Exempel på detta finns inne i rapporten – reparation vid Lasele kraftstation.
- Kontrollera entreprenörernas erfarenhet inom aktuellt område och begär att få erfaren personal som utför arbetet. Detta gäller särskilt vid reparationsmetoder som kräver god uppföljning/kontroll. Var noga med att anlita en entreprenör har ett bra kvalitetsprogram och egenkontroll. (Görs lämpligast genom att diskutera med entreprenören samt kontrollera om de är certifierade.)
- Se till att erforderlig provtagning genomförs genom att besöka arbetsplats och be att få in provresultat.

6 Referenser

- [a] Täljsten B., "*Reparation av skibord*", Vattenfall Utveckling AB, VU-S 91:38, 1991
- [b] BST, "*Betonghandboken – arbetsutförande*", AB Svensk Byggtjänst och Cementa AB, 1992
- [c] Täljsten B., "*Reparation av skibord vid Ligga kraftstation*", Vattenfall Utveckling AB, VU-S 91:34, 1991
- [d] Nordström E., "*Sprutbetongs beständighet – Inventering*", Vattenfall Utveckling AB, SveBeFo Rapport 26/Elforsk nr 96:18, 1996
- [e] Björkenstam E., "*Inventering av betongreparationer utförda på svenska vattenkraftanläggningar*", Vattenfall Utveckling AB, Elforsk rapport 99:28, 2000
- [f] Tatro B. S., "*Compendium of Case Histories on Repair of Erosion-Damaged Concrete in Hydraulic Structures*", ACI Committee 210, ACI 210.1R-94, 1994
- [g] W. James Marold, P.E., "*French Paper Dam Spillway Improvements*" Energy and Water: congress of the International Association of Hydraulic Reserach, IAHT c D 1997. ASCE, New York, NY.
- [h] Abdel-Halim M. A.H. m.fl. "*Rehabilitation of the spillway of Sama El-Serhan dam in Jordan, using roller compacted concrete*", Engineering Structures 21 p 497-506, 1999.
- [i] BST, "*Betonghandboken – material*", AB Svensk Byggtjänst och Cementa AB, 1994
- [j] Muller, Bruce C. JR., "*Friant dam spillway rehabilitation*", Energy and Water – Congress of the International Association of Hydraulic Research, IAHR c D 1997, ASCE, New York
- [k] BST, "*Betongprovning med svensk standard*", 1991, Utgåva 6
- [l] Rådman J., "*Sammanställning av materialdata för lagningsbruk*", Elforsk rapport 00:02, 2000
- [m] Björkenstam E., "*Lagningsbruk – önskade bruksegenskaper och provningsprogram för att kontrollera dessa*", Elforsk rapport beräknas färdig 2001.

A Databas – Skibordsreparationer

A.1 Konventionell gjutning

Tabell 1 Reparationer på skibord där konventionell gjutning använts.

Rep. år:	Skadetyyp skadeorsak:	&	Förarbete & Rep.metod:	Materialtyp & produkt:	Utförare:	Resultat:
			Först vattenbilades ytorna med robot, ca 5 cm, varefter skibordet gjöts med klätterform, 60 cm bred, vilket gett skibordet ett något kantigt utseende. En hållist ut mot skibordets sidor utfördes för att minska erosionsskador i övergången.		Skanska och Stabilator	Relativt bra, formen resulterade i luftbubblor vilket lett till en förlängd garanti tid.
			Kompletterat gammalt skibord genom att gjuta "stenblock".	Betong		
1988	Avskalning orsakad av erosion/nötning. Det förekom gjutsår och avskalning orsakad av en ursprungligt dålig betongkvalitet.		Ytan mejslades och därefter gjöts skibordet konventionellt.	K40 betong		
1990	Sprickor, krackeleringar, i hela utskovet orsakade av kemiskt angrepp, AKR.		Ytorna vattenbilades och därefter utfördes en pågjutning med 100 mm betong.	K30 fabriks-betong		Relativt bra, krackeleringar har återkommit på vissa ställen.
1991			Konventionell gjutning med klätterform. Betongytan slipades varefter formen flyttades.	Betong	Kraftbyggarna	Bra
1991			Vattenbilning och därefter gjutning samt vakuumbehandling och betongytan stålglättades och täcktes med plast.	Betong med anl.cement		Bra
1992	Avskalning orsakad av frostangrepp och erosion/nötning.		Bilning och blåstring samt formsättning och konventionell gjutning.	K30 betong	Egen regi	Bra
1994	Avskalning orsakad av frostangrepp och erosion/nötning.		Konventionell gjutning samt brädriven betongyta.	K 30 betong		Bra
1994			Ytorna vattenbilades fram till armering och därefter gjöts skibordet och vakuumsögs.	Betong		Relativt bra, mindre skador har uppkommit där ballast frilagts.
1994	Avskalning orsakat av frostangrepp.		Konventionell gjutning	Betong		Bra

Forts. tabell 1.

Rep. år:	Skadetypp skadeorsak:	&	Förarbete & Rep.metod:	Materialtyp & produkt:	Utförare:	Resultat:
1995	Avskalning orsakad av ordinär drift samt av frostangrepp. Frostangreppen var störst under vattenlinjen. Stort spill hade lett till kavitationsskador.		Ytan handbilades och nätarmerades varefter skibordet pågjöts med 30-50 mm betong.	K40 betong		Bra
1995	Avskalning orsakad av dåligt utförande samt att dålig betong ledde till frostangrepp. Dessutom utsattes betongen för tryckspänningar.		Först vattenbilades ytan tom överkantsarmering varefter vissa förankringsjärn och armering böts ut och därefter gjöts skibordet. På mindre skador applicerades primer.	K40 betong		

A.2 Sprutbetong

Tabell 2 Reparationer utförda på skibord där sprutbetong använts.

Rep. år:	Skadetypp skadeorsak:	&	Förarbete Rep.metod:	&	Materialtyp & produkt:	Utförare:	Resultat:
	Läckage och urlakning orsakat av erosion/nötning. Bindemedlet hade spolats bort under ytan. Ytan var dock av god kvalitet.		Vattenbilning fram till armering och därefter sprutades skibordet.		Sprutbetong	Stabilator	Ej bra, resultatet blev 30% bom. Orsaken till detta var troligen en kombination av den kalla årstiden, dåligt uppvärmda underytor samt ej kompetent utförare. Arbetet gjordes sedermera om. Då var metoden konventionell gjutning.
1964	Läckage och urlakning orsakat av erosion/nötning.		Först bilades ytan, ca. 30 cm, varefter hela skibordet torrsprutades i två påslag. Halva skibordet behandlades därefter med en epoxiprodukt.		Sprutbetong samt Colma Fix, Sika.	Svenska Injekteringsbolaget.	Bra
1990			Först vattenbilades ytan, 20-30 mm, varefter hela skibordet torrsprutades 60 mm. Ytan stålglättades.		K40 Sprutbetong, fiberarmerad.	Byggs	Bra
1992	Avskalning orsakad av frostangrepp och erosion/nötning.		Bilning och blästring samt torrsprutning.		Sprutbetong	Egen regi	Bra
1992	Avskalning orsakad av frostangrepp och erosion/nötning.		Bilning och blästring samt torrsprutning.		Sprutbetong med glasfibrer.	Egen regi	Bra
1994	Avskalning orsakad av frostangrepp.		Torrsprutning.		Sprutbetong		Bra

A.3 Övriga repartitionsmaterial

Tabell 3 Reparationer på skibord där övriga reparationsmaterial använts.

Rep. år:	Skadetyyp skadeorsak:	&	Förarbete & Rep.metod:	Materialtyp & produkt:	Utförare:	Resultat:
1989	Avskalning orsakad av erosion och frostangrepp.		Gjutning enligt Rescon-metoden.	Rescon-undervatten sbetong med epoxi.		Bra
1992	Avskalning orsakad av frostangrepp och erosion/nötning.		Blästring och applicering av Densit.	Densit med glasfiber-armering	Egen regi	Bra
1994			Rengöring och applicering av Chesterton.	Chesterton		Relativt bra, vid tröskelplåten har chesterton börjat lossna ('97). Orsaken kan vara dåligt förarbete vilket lett till att det börjat lossna i den gamla betongen.
1994	Avskalning orsakat av erosion/nötning samt av frostangrepp.		Ytorna vattenfrästes, 10 mm, och rengjordes. Chesterton applicerades samt att ytorna impregnerades.	Chesterton		Bra
1996			Rengöring och applicering av Chesterton.	Chesterton		Relativt bra, Chesterton släppt något i fogarna vilket troligen beror på kort härdningstid vilket lett till sämre vidhäftning.
1997			I fogarna i det stenkädda skibordet har bruk applicerats.	Strå		
1997	Avskalning orsakad av frostangrepp.		Rengöring med högtryckstvätt därefter applicerades bruket på skibordströskeln.	Lafarge	Skanska	Bra

ELFORSK

SVENSKA ELFÖRETAGENS FORSKNINGS- OCH UTVECKLINGS – ELFORSK – AB
Elforsk AB, 101 53 Stockholm. Besöksadress: Olof Palmes Gata 31
Telefon: 08-677 25 30. Telefax 08-677 25 35
www.elforsk.se