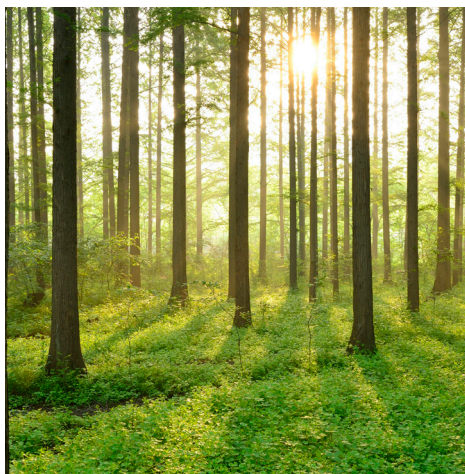


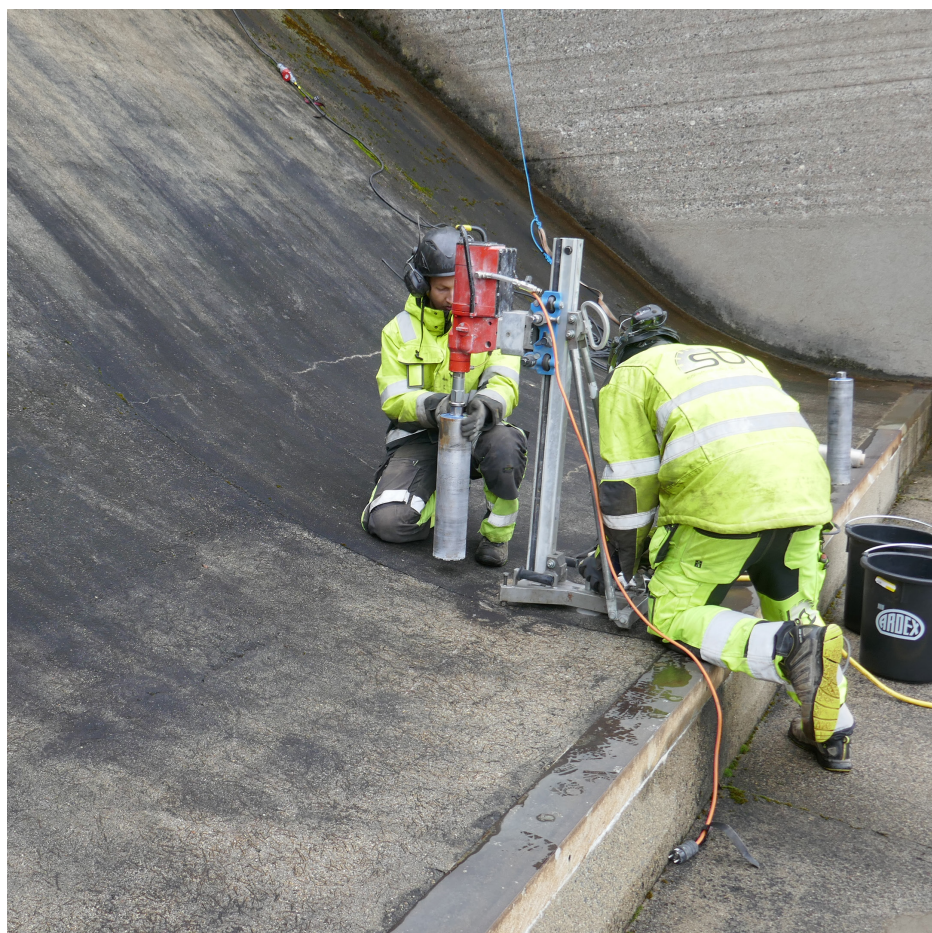
# UPPFÖLJNING AV SPRUTBETONGREPARERADE SKIBORD

RAPPORT 2023:927



VATTENKRAFT

BETONGTEKNISKT PROGRAM  
VATTENKRAFT



Energiforsk



# Uppföljning av sprutbetongreparerade skibord

MARTIN ROSENQVIST

ISBN 978-91-7673-927-3 | © Energiforsk februari 2023

Energiforsk AB | Telefon: 08-677 25 30 | E-post: [kontakt@energiforsk.se](mailto:kontakt@energiforsk.se) | [www.energiforsk.se](http://www.energiforsk.se)





## Förord

**Sprutbetong har under lång tid varit ett vanligt förekommande material vid reparation av vattenkraftsindustrins skadade betongkonstruktioner. Skibord med skadade sprutbetongreparationer är dock inte ovanliga att påträffa vid landets dammanläggningar. Eftersom vattenkraftsindustrin årligen lägger stora summor på reparationer, finns det ett behov av att förbättra kunskapsläget gällande sprutbetongreparerade skibord.**

I det här projektet har det genomförts uppföljning av tillståndet hos sprutbetongreparerade skibord. Uppföljningen omfattade okulär besiktning, bomknackning, samt uttag av betongkärnor för bestämning av både sprutbetongens och underliggande konstruktionsbetongs egenskaper. Erhållna resultat ökar förståelsen för varför sprutbetongreparationens beständighet kan variera mellan olika skibord. Studien har genomförts av seniorkonsult Martin Rosenqvist vid AFRY.

Ett tack riktas till Jämtkraft och Vattenfall för att ha möjliggjort denna uppföljning av utförda sprutbetongreparationer. Vidare riktas ett tack till Erik Nordström vid Vattenfall för insiktsfulla kommentarer kring rapportens innehåll.

Projektet har genomförts inom Energiforsk Betongtekniskt program vattenkraft, med intressenterna Fortum Sverige, Jämtkraft, Karlstads Energi, Skellefteå Kraft, Statkraft Sverige, Svensk Kärnbränslehantering, Sydkraft Hydropower/Uniper, Tekniska Verken, Umeå Energi, Vattenfall Vattenkraft och Vattenfall Indalsälven.

Här redovisas resultat och slutsatser från ett projekt inom ett forskningsprogram som drivs av Energiforsk. Det är rapportförfattaren som ansvarar för innehållet.

## Sammanfattning

**I denna studie har beständigheten hos sprutbetongreparerade skibord utvärderats genom kombinerade fält- och laboratorieundersökningar. Fyra skibord har ingått i studien. Skiborden reparerades runt 1990 till följd av nedbrytning av den ursprungliga konstruktionsbetongen.**

Sprutbetong är och har under lång tid varit ett vanligt förekommande material vid reparation av skadade betongkonstruktioner vid landets dammanläggningar. Till dessa konstruktioner räknas ofta skibord, pelarsidor och partier av dammen längs vattenlinjen. Större reparationer förväntas dock ha en teknisk livslängd om minst 25–30 år. Att undersöka ett antal reparationers prestanda över tid kan därför ge vägledning kring vilken livslängd en sprutbetongreparation kan förväntas ha.

Skibord med skadade sprutbetongreparationer är inte ovanligt att påträffa vid dammanläggningar. Skibord utsätts vanligtvis för olika kombinationer av mekaniska, kemiska och fysikaliska påfrestningar. Över tid leder dessa påfrestningar till skador och successiv nedbrytning av sprutbetongen.

Under 2020 genomfördes det en uppföljning av sprutbetongreparerade skibord. Denna uppföljning omfattade okulär besiktning, bomknackning, samt uttag av betongkärnor för bestämning av både sprutbetongens och den underliggande konstruktionsbetongens egenskaper. De egenskaper som bestämdes var frostbeständighet, tryckhållfasthet, samt sprutbetongens vidhäftningshållfasthet.

Vad som har framkommit i denna studie är att det förekommer stor spridning i tillståndet hos sprutbetongreparerade skibord. Tunna sprutbetongreparationer ökar risken för bom, spjälkning och i förlängningen bristande beständighet. Det har också framkommit att dålig beständighet hos sprutbetongreparationer inte enbart beror på sprutbetongen. Också egenskaper hos konstruktionsbetongen under sprutbetongskiktet har stor betydelse för reparationens beständighet.

Trots bristande beständighet hos en del sprutbetongreparerade skibord finns det samtidigt skibord som uppvisar god beständighet mer än 30 år efter utförandet. Detta visar att det går att åstadkomma sprutbetongreparerade skibord med god beständighet genom omsorgsfull projektering och noggrant praktiskt utförande.

## Nyckelord

Skibord, utskov, dammar, betong, sprutbetong, skador, spjälkning, nedbrytning, beständighet, urlakning, frostsador, reparationer

## Summary

**In this study, the durability of shotcrete repaired concrete spillways has been evaluated through combined field and laboratory investigations. Four spillways have been included in the study. The spillways were repaired around 1990 as a result of degradation of the original concrete.**

Shotcrete (i.e. sprayed concrete) is and has been for a long time a commonly used material for the repair of damaged concrete structures at hydropower dams. These structures include spillways, pillar sides and parts of the dam along the waterline. Major repairs are normally expected to have a technical lifespan of at least 25–30 years. Evaluating the performance over time of a number of repairs can therefore provide guidance as to what lifespan shotcrete repairs can be expected to have.

Spillways with damaged shotcrete repairs can sometimes be found at hydropower dams. The spillways are usually subjected to various combinations of mechanical, chemical and physical stresses. Over time, these stresses result in damage and gradual degradation of the shotcrete repairs.

In 2020, a follow-up study of shotcrete repaired concrete spillways was carried out. The study included ocular inspection, hammer tapping and extraction of concrete drill cores to determine properties of both the shotcrete and the substrate concrete. Properties that were determined included frost resistance, compressive strength and bond strength between repair material and substrate concrete.

It has been observed in this study that there is a wide spread in the condition of shotcrete repaired spillways. Thin shotcrete repairs increase the risk of spalling, damage and lack of durability. It has also been indicated that poor durability of shotcrete repairs is not only caused by the shotcrete itself. The condition of the substrate concrete is also of great importance for the durability of the repair.

Despite the lack of durability of some shotcrete repaired concrete spillways, there still exist spillways that show good durability more than 30 years after the repair work. This means that it is possible to achieve shotcrete repaired spillways with good durability through careful planning and execution.

## Innehåll

|          |                                                 |           |
|----------|-------------------------------------------------|-----------|
| <b>1</b> | <b>Inledning</b>                                | <b>7</b>  |
| 1.1      | Bakgrund                                        | 7         |
| 1.2      | Syfte                                           | 8         |
| 1.3      | Avgränsningar                                   | 8         |
| <b>2</b> | <b>Utförda skibordsreparationer</b>             | <b>9</b>  |
| 2.1      | Hissmofors kraftverk                            | 9         |
| 2.2      | Kraftverk 2                                     | 10        |
| 2.3      | Kattstrudeforsens kraftverk                     | 11        |
| 2.4      | Kraftverk 4                                     | 11        |
| <b>3</b> | <b>Genomförande av uppföljning</b>              | <b>13</b> |
| 3.1      | Uppföljning 1990-tal                            | 13        |
| 3.2      | Uppföljning 2020                                | 13        |
| <b>4</b> | <b>Resultat</b>                                 | <b>20</b> |
| 4.1      | Hissmofors kraftverk                            | 20        |
| 4.2      | Kraftverk 2                                     | 28        |
| 4.3      | Kattstrudeforsens kraftverk                     | 33        |
| 4.4      | Kraftverk 4                                     | 38        |
| <b>5</b> | <b>Diskussion och slutsatser</b>                | <b>39</b> |
| 5.1      | Fält- och laboratorieundersökningar             | 39        |
| 5.2      | Potentiella orsaker till reducerad beständighet | 40        |
| 5.3      | Praktiska aspekter                              | 41        |
| 5.4      | Summering                                       | 43        |
| <b>6</b> | <b>Referenslista</b>                            | <b>44</b> |

# 1 Inledning

## 1.1 BAKGRUND

Sprutbetong är och har under lång tid varit ett vanligt förekommande material vid reparation av skadade betongkonstruktioner vid dammanläggningar inom landet. Till dessa konstruktioner räknas bland annat skibord, pelarsidor, samt partier av dammen utmed vattenlinjen. I en sammanställning av Björkenstam (1999) kring genomförda reparationer på vattenkraftens betongkonstruktioner beräknades utskovens andel av de utförda reparationerna uppgå till 21,5 %.

I en uppföljande studie av Björkenstam (2001) gjordes det år 2000 en undersökning av tillståndet hos utförda sprutbetongreparationer på en av dammanläggningarna. 2018 genomförde Rosenqvist (2019) en ny undersökning av tillståndet hos ett av dessa skibord som drygt 25 år tidigare hade reparerats med sprutbetong.

Vid reparationsarbetena år 1992 hade sprutbetongen applicerats med torrmetoden. Glasfiber (0–8 mm) hade blandats in i betongen. Sprutbetongskiktets tjocklek var i medeltal 10 mm med enstaka djupare partier. Inga bompardier noterades varken 2000 eller 2018. Vad som konstaterades vid båda undersökningarna var att sprutbetongens frostbeständighet i närvaro av sötvatten var undermålig.

I en studie av Nordström (1996) undersöktes specifikt beständigheten hos olika typer av sprutbetongreparationer. Bland annat utfördes det kontroller av sprutbetongreparationer på skibord till tre vattenkraftverk. Reparationerna utfördes runt år 1990. Fiber av stål eller polypropylen hade blandats in i betongen.

Undersökningen visade att uppkomna skador i sprutbetongen ofta påträffades i områden med förhållandevis tunna sprutbetongskikt ( $\leq 20$  mm). I områden där sprutbetongen översteg 30 mm i tjocklek var resultaten bättre. God vidhäftning mot underlaget hade i regel erhållits. En slutsats var att bra rengöring av ytan innan sprutning får stor betydelse för vidhäftningen och beständigheten.

Det är vanligt att erfarenheter kring sprutbetongreparationer varierar stort mellan olika individer. Till sprutbetongens fördel lyfts ofta de praktiska aspekterna fram, vilka omfattar den enkla appliceringen eftersom det inte krävs formbyggnad. Till sprutbetongens nackdel påtalas ofta bristande och/eller varierande beständighet.

Det kan härmed konstateras att det finns ett behov av att förbättra kunskapsläget gällande sprutbetongens beständighet i vattenkraftsmiljön. En ny uppföljning av beständigheten hos sprutbetongreparerade skibord är därför efterfrågad. Skibord utsätts för betydande påfrestningar vid avbördning när vattenmassor strömmar över konstruktionen. Varierande utomhustemperatur i kombination med hög fuktbelastning resulterar dessutom i fysikaliska och kemiska påfrestningar.

Större betongreparationer förväntas ofta ha en livslängd om minst 25–30 år. Det är därmed lägligt att göra en ny uppföljning av de sprutbetongreparerade skiborden som åtgärdades under 1990-talet. Hur reparationerna har presterat över tid kan ge vägledning kring vilken livslängd en sprutbetongreparation kan förväntas ha.



## 1.2 SYFTE

Det huvudsakliga syftet med föreliggande studie är att förbättra kunskapsläget kring skadade skibord som har reparerats med sprutbetong. Detta för att bygga vidare på tidigare erfarenheter kring skibordsreparationer och vilka krav som rimligen kan ställas på reparationens förväntade livslängd.

## 1.3 AVGRÄNSNINGAR

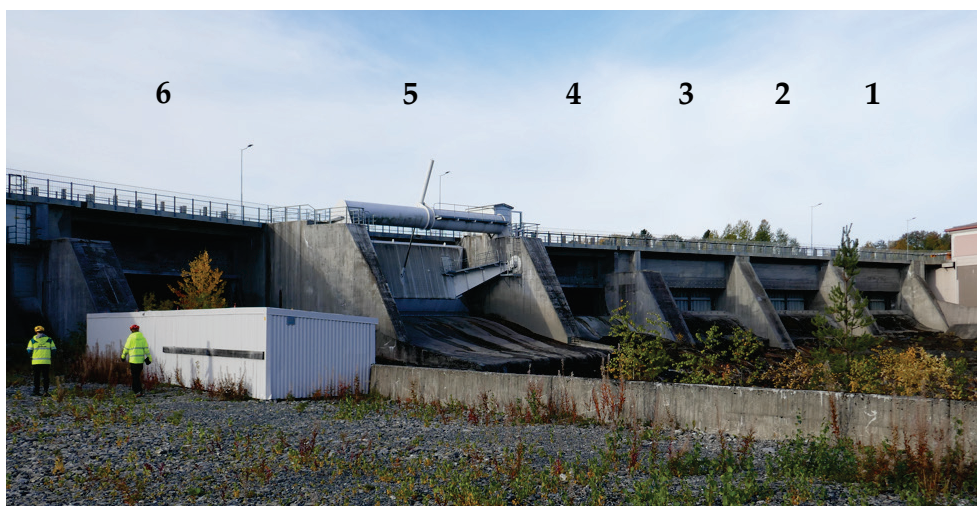
Endast skibordsreparationer utförda med sprutbetong behandlas i denna rapport. Uppföljning av sprutbetongreparationer av andra konstruktionsdelar ligger utanför ramen för denna studie. Utanför omfattningen för denna studie är också framtagning av rekommendationer för val av material och metod inför reparation av skadade skibord. Diskussion görs baserat på gjorda observationer och erhållna resultat i ljuset av motsvarande resultat från föregående undersökningar.

## 2 Utförda skibordsreparationer

Det primära kriteriet för urval av skibordsreparationer för uppföljning i denna studie har varit att reparationerna utfördes runt 1990. Nordström (1996) genomförde en uppföljning av sådana skibordsreparationer i mitten av 1990-talet. Det sekundära kriteriet för urval av reparationer har därför varit att göra en ny uppföljning av skiborden som undersöktes av Nordström (1996).

### 2.1 HISSMOFORS KRAFTVERK

Det första kraftverket i denna studie byggdes och togs i drift i slutet av 1890-talet. Den nuvarande utskovsdammen med sex utskov uppfördes mellan åren 1939 och 1941. Utskovens numrering framgår av Figur 1. Utskovsdammen har byggts om i omgångar. 1976 gjöts utskov 1–3 igen, men öppnades upp igen 1992. I samband med dessa arbeten reparerades troligtvis de tre skiborden med sprutbetong.



Figur 1. Hissmofors kraftverk. Vy över nedströmssidan av utskovsdammen. De sex utskoven numreras 1 till och med 6. På båda sidor om dammen, men utanför bild, ansluter utskovsdammen mot kraftverksbyggnader.

1998 byggdes utskov 5 om genom att en sektorlucka ersattes med en segmentlucka. Troligtvis utfördes samtidigt en sprutbetongreparation av skibordsförlängningen, vilken inte påverkades av byggnadsarbetena. 1999–2000 byggdes utskov 4 och 6 om genom att befintliga segmentluckor ersattes med planluckor. Någon information om senare reparationsinsatser har ej påträffats.

Det har inte påträffats någon dokumentation som beskriver hur reparationerna utfördes. Det saknas därför närmare information om tidpunkt för reparationerna, hur sprutbetongen sammansattes, vilken metod som tillämpades vid applicering, samt metod för eventuell efterbehandling av sprutbetongen.

I föreliggande studie utförs uppföljning av skibordsreparationer i utskov 1 och 5. Genomförande och resultat redovisas i avsnitt 3.2.1.1 respektive avsnitt 4.1.

## 2.2 KRAFTVERK 2

Byggnadsarbetena vid det andra kraftverket i föreliggande studie inleddes år 1935 och avslutades år 1940. Regleringsdammen har fem utskov. Utskovens benämning framgår av Figur 2. I slutet av 1980-talet var skiborden i behov av reparationsåtgärder. Enligt Nordström (1996) utfördes sprutbetongreparationer 1989.



Figur 2. Kraftverk 2. Vy över nedströmssidan av utskovsdammen. De fem utskoven benämns A till och med E. Längst bort till höger i bilden syns en del av kraftverksbyggnaden.

Inledningsvis avverkades gammal och skadad betong genom vattenbilning. Innan sprutning utfördes skulle ytan noggrant rengöras och vattnas till ett "lätt sugande underlag". Sprutbetongen hade ett blandningsförhållande om 1:3 med maximal stenstorlek av 10 mm. Torrmetoden användes vid sprutbetongens applicering.

Sprutning utfördes uppifrån dammluckan och ner längs skibordet i sektioner om 3–4 m bredd och i 2–3 påslag upp till cirka 70 mm tjocklek. Det beskrevs noggrant hur återstuds och sprutspill skulle fångas upp genom att skydda nedre delar med presenningar som drogs bort eftersom sprutningen pågick. Stålglättning av ytan utfördes efter sprutning. De nedre delarna av skiborden vakuumbehandlades. Slutligen föreskrevs det vattnings av betongen i fem dygn efter sprutning.

Uppföljningen som redovisas i Nordström (1996) fokuserade på skibordet i utskov C. Det framgår att "vid okulär kontroll av skibordet kan man se att stålfibrer finns i ytan och att dessa är korroderade. Skarvarna mellan de olika sektionerna kan ses i ytan och vid kantskoningen. I sektionen längst till vänster (nedifrån sett) kan man se viss krackelering, men i övrigt endast en enstaka horisontell spricka som självläkt i mitten av skibordet".

Bedömningen 1996 blev att skibordet i huvudsak verkar "vara i gott skick utan större skador. Vidhäftningshållfastheten är också bra vid provstället". Ett sämre parti i skarven mellan två sektioner bedömdes bero på insprutat spill.

I denna studie utförs uppföljning av skibordsreparationer i utskov C. Redovisning av genomförande och resultat sker i avsnitt 3.2.1.2 respektive avsnitt 4.1.

### 2.3 KATTSTRUPEFORSSENS KRAFTVERK

Det tredje kraftverket i denna studie började byggas 1939 och färdigställdes 1942. Regleringsdammen har tre utskov. Utskovens numrering framgår av Figur 3. I slutet av 1980-talet eller början av 1990-talet fattades det beslut om att åtgärda skiborden. Sprutbetongreparationer utfördes troligtvis runt 1990.



Figur 3. Kattstrupeforsens kraftverk. Vy över utskovsdammens nedströmssida. De tre utskoven numreras 1 till och med 3. Till höger i bild ansluter utskovsdammen mot en jorddamm och till vänster mot en betongdamm.

Det har inte har påträffats någon dokumentation som beskriver hur reparationerna utfördes. Det saknas därför närmare information om tidpunkt för reparationerna, hur sprutbetongen sammansattes, vilken metod som tillämpades vid applicering, samt metod för eventuell efterbehandling av sprutbetongen.

I föreliggande studie genomförs uppföljning av skibordsreparationer i utskov 2. Genomförande och resultat presenteras i avsnitt 3.2.1.3 respektive avsnitt 4.1.

### 2.4 KRAFTVERK 4

Kraftverket och dammen ligger i Ångermanälven. Byggnadsarbetena inleddes 1944 och avslutades 1947. Kraftverket togs i drift redan året innan. Dammen är försedd med tre utskov. Utskovens benämning framgår av Figur 4. Under slutet av 1980-talet var skiborden till de tre utskoven i behov av reparationsåtgärder. Enligt Nordström (1996) utfördes de nödvändiga reparationerna 1990.

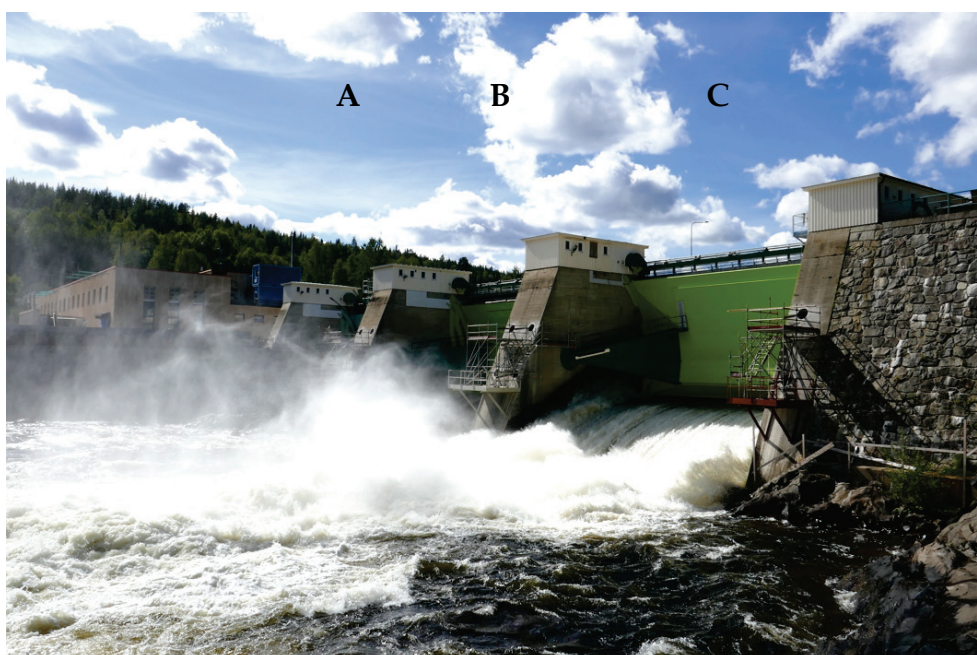
Gammal och skadad betong avverkades med vattenbilning. Därefter applicerades sprutbetong med en tjocklek av cirka 50 mm. Fiber av polypropylen tillsattes sprutbetongen. Torrmetoden tillämpades vid sprutbetongens applicering.

Sprutning utfördes uppifrån dammluckan och ner längs skibordet i sektioner med en bredd av cirka 4 m. På skibordet i utskov C gjordes ett försök att stålglätta en



del av ytan. Farhågor om att stålglättning skulle försämra sprutbetongens vidhäftning kunde inte styrkas i samband med uppföljningarna 1990 respektive 1996. Sprutningen utfördes under tält eftersom arbetena utfördes i januari månad.

Nordström (1996) anger att det redan efter två år hade noterades skador på sprutbetongen. Skadorna bestod i huvudsak av att ett övre skikt om cirka 20 mm hade lossnat från underliggande sprutbetong. Skadorna reparerades med Chesterton, vilket är en kvartsförstärkt polymerkomposit med bindemedel i form av epoxi.



Figur 4. Kraftverk 4. Vy över nedströmssidan av utskovsdammen. De tre utskoven benämns A till och med C. Längst bort i bilden till vänster syns kraftverksbyggnaden.

Under 2010-talet gjordes det en översyn av utskovsdammens säkerhet. En följd av översynen blev att skibord A och C byggdes om. Skadad sprutbetong och underliggande konstruktionsbetong vattenbilades bort innan ny betong påfördes.

Innan ombyggnadsarbetena igångsattes hade utskovens tillstånd dokumenterats i samband med en fördjupad inspektion. För utskov A blev utlåtandet att skibordet "är skadat med bomområden, sprickor, spjälkning och frilagd armering". Gällande utskov B angavs det att skibordet har "mindre sprickor och omfattande betongsläpp med frilagd armering". I utskov C uppvisade skibordet "mindre sprickor och frilagd armering". De observerade skadorna var i huvudsak koncentrerade till skibordens nedre delar och utmed sidorna där vatten rinner från läckande tätningar i utskovsluckorna.

I denna studie genomförs ingen uppföljning av skibordsreparationerna i och med att utskov A och C har byggts om. Just dessa utskov ingick i uppföljningen 1996. Resultaten från 1996 års uppföljning av utskov C återges dock i avsnitt 4.1.

### 3 Genomförande av uppföljning

#### 3.1 UPPFÖLJNING 1990-TAL

En första uppföljning av sprutbetongreparationerna på skiborden vid kraftverk 2 och 4 utfördes 1996. Uppföljningen omfattade okulär besiktning, bomknackning, samt provning av sprutbetongens vidhäftning mot underliggande konstruktionsbetong. Angående kraftverk 4 genomfördes det en riktad uppföljning i samband med reparationerna i utskov C år 1990. Syftet med uppföljningen var att bedöma om stålglättning av ytan påverkade sprutbetongens vidhäftningshållfasthet.

#### 3.2 UPPFÖLJNING 2020

En andra uppföljning genomfördes år 2020 då snittåldern på reparationerna var närmare 30 år. Uppföljningen omfattade okulär besiktning, bomknackning, samt uttag av betongkärnor för bestämning av både sprutbetongens och den underliggande betongens egenskaper. Bestämningen omfattade sprutbetongens vidhäftningshållfasthet, densitet, tryckhållfasthet och frostbeständighet.

##### 3.2.1 Utborrning av betongkärnor

###### 3.2.1.1 Hissmofors kraftverk

###### Utskov 1

För utborrning av betongkärnor anlätades Z-borr AB i Östersund. Borrningsarbetet utfördes den 14 oktober 2020. I utskov 1 borrades det ut tio kärnor från den nedre delen av skibordet. Betongkärnorna hade en diameter av 95 mm och borrades till som mest 300 mm djup. Figur 5 visar pågående arbete. I Figur 6 syns platsen efter avslutat borrningsarbete. Borrningsarbetet avbröts om armeringsjärn påträffades.



Figur 5. Hissmofors. Pågående utborrning av tio betongkärnor från den nedre delen av skibordet i utskov 1.





Figur 6. Hissmofors. Avslutat borrhingsarbete för uttag av betongkärnor från skibordet i utskov 1. Notera att alla kärnor inte borrades till fullt djup eftersom arbetet avbröts om armeringsjärn påträffades.

#### Utskov 5

Från skibordsförlängningen i utskov 5 borrades det ut tio betongkärnor. Platsen för de utborrade kärnorna framgår av inringat område i Figur 7. Betongkärnorna hade en diameter av 95 mm och borrades som mest till 300 mm djup. Borrhingsarbetet avbröts om armeringsjärn påträffades. I Figur 8 syns ett armeringsjärn efter påborrning. I Figur 9 syns platsen efter avslutat borrhingsarbete.



Figur 7. Hissmofors. Inringat område markerar platsen för de tio betongkärnorna som borrades ut från den nedre delen av den sprutbetongbelagda skibordsförlängningen i utskov 5 år 2020.





Figur 8. Hissmofors. Borrningsarbetet avbröts om armeringsjärn påträffades.



Figur 9. Hissmofors. Avslutat borrningsarbete för uttag av betongkärnor från skibordsförlängningen i utskov 5. Notera att alla kärnor inte borrades till fult djup eftersom arbetet avbröts om armeringsjärn påträffades.



### 3.2.1.2 Kraftverk 2

#### Utskov C

Utborrning av betongkärnor utfördes av Sollefteå såg & borrar teknik SBT. Arbetet genomfördes den 13 oktober 2020. Från den nedre delen av skibordet i utskov C borrades det ut elva kärnor. Utborrningen gjordes intill platsen för 1996 års uppföljning. Platsen är utmärkt i Figur 10 och visas i Figur 11 efter avslutat arbete. Kärnorna hade en diameter av 103 mm och borrades till ett djup av 300 mm.



Figur 10. Kraftverk 2. Inringat område strax ovanför kantskoningen markerar platsen för 1996 års uppföljning och för de tio betongkärnorna som borrades ut från skibordet i utskov C i 2020 års uppföljning.



Figur 11. Kraftverk 2. Avslutat borrningsarbete för uttag av betongkärnor från skibordet i utskov C.



### 3.2.1.3 Kattstrudeforsens kraftverk

#### Utskov 2

Utborrning av betongkärnor gjordes av Z-borr AB. Arbetet utfördes den 15 oktober 2020. Från skibordet i utskov 2 borrades det ut elva kärnor. Platsen för utborrning är utmärkt i Figur 12. Betongkärnorna hade en diameter av 95 mm och borrades som mest till 300 mm djup. I Figur 13 visas en närbild på platsen efter avslutat borrarbete. Borrhningen avbröts om armeringsjärn påträffades.



Figur 12. Kattstrudeforsen. Inringat område markerar platsen för elva betongkärnor från skibordet i utskov 2.



Figur 13. Kattstrudeforsen. Skibordet i utskov 2 efter avslutat borrarbete för uttag av betongkärnor. Notera att alla kärnor inte borrades till fullt djup eftersom arbetet avbröts om armeringsjärn påträffades.

#### 3.2.1.4 Kraftverk 4

Utborrning av betongkärnor utfördes ej 2020, eftersom skiborden hade byggts om i samband med dammsäkerhetshöjande åtgärder under 2010-talet. Se beskrivning i avsnitt 2.4. Resultaten från de tidigare uppföljningarna återges i avsnitt 0.

### 3.2.2 Provningsmetoder

#### 3.2.2.1 Vidhäftningshållfasthet

För bestämning av sprutbetongens vidhäftningshållfasthet mot den underliggande konstruktionsbetongen genomgick tre provkroppar från vardera skibord provning. Om sprutning hade utförts i flera påslag bestämdes även vidhäftningshållfastheten mellan dessa påslag med två provkroppar. Vidhäftningshållfastheten bestämdes i laboratorium genom provning av de utborrade provkropparnas draghållfasthet.

Draghållfastheten bestämdes i enlighet med provningsmetod SS 13 72 31:2005 med avsteget att provkropparnas längd ej alltid var större än dubbla diametern.

Provkropparna förbereddes genom att ändytorna slipades så att kraven på planhet enligt SS-EN 12390-1 uppnåddes. Därefter limmades stålplattor mot ändytorna. Stålplattorna är konstruerade så att de kan monteras i provningsmaskinen.

Utöver draghållfastheten noterades också läget för brottet. Följande förkortningar används för att beskriva läget för brottet; vidhäftningszon (vhz), sprutbetong (rep) och konstruktionsbetong (K-btg). Rekommenderade värden på sprutbetongens vidhäftningshållfasthet är  $\geq 1,5$  MPa, alternativt att brottet sker i den underliggande konstruktionsbetongen.

#### 3.2.2.2 Tryckhållfasthet

Sprutbetongens och den underliggande konstruktionsbetongens tryckhållfasthet bestämdes om möjligt. Vid redovisning av resultaten anges provets position på följande vis; sprutbetongens hållfasthet redovisas som "*Tryckhållf. rep.*" medan konstruktionsbetongens hållfasthet som "*Tryckhållf. K-btg*".

Bestämning av tryckhållfasthet gjordes för tre provkroppar av konstruktionsbetong. För sprutbetong gjordes bestämningen för en provkropp om möjligt.

Tryckhållfastheten bestämdes i enlighet med provningsmetod SS-EN 12390-3:2009.

#### 3.2.2.3 Densitet

I den mån det var möjligt bestämdes den underliggande konstruktionsbetongens och sprutbetongens densitet. Vid redovisning av resultaten anges provets läge på följande sätt; konstruktionsbetongens densitet redovisas som "*Densitet K-btg*" och sprutbetongens densitet som "*Densitet rep.*" Bestämning av densiteten är en del av provningsförfarandet vid bestämning av betongmaterialens tryckhållfasthet (avsnitt 3.4.2). Därmed användes samma antal provkroppar.

Densiteten bestämdes i enlighet med provningsmetod SS-EN 12390-7:2009.



### 3.2.2.4 Fiberhalt

Bestämning av eventuell fiberhalt utfördes för provkroppar av sprutbetong som hade använts för bestämning av tryckhållfasthet och densitet. Fibermängden bestämdes i enlighet med SS-EN 14488-7:2006 (Metod A).

### 3.2.2.5 Frostbeständighet

Sprutbetongens frostbeständighet bestämdes om möjligt både för överytan och i ett snitt cirka 50 mm från överytan. Den underliggande konstruktionsbetongens frostbeständighet bestämdes också. Frostbeständigheten bestämdes både i närvaro av sötvatten och saltvatten (3 % NaCl-lösning).

Anledningen till att bestämma frostbeständigheten i närvaro av saltvatten beror på att betong med förhållandevis låg kvalitet kan prestera bra i laboratorieprovning. Rosenqvist (2016) visade experimentellt att betong med vct upp till 0,7 och utan tillsats av luftporbildande medel kan ha god frostbeständighet i närvaro av sötvatten vid provning i laboratoriemiljö. Praktiska erfarenheter har dock visat att betong med vattencementtal 0,7 och utan luftporbildande medel ofta inte har tillräckligt god frostbeständighet över tid i vattenkraftsmiljö.

Vid redovisning av resultaten anges det provade snittets position på följande sätt; sprutbetongens överyta redovisas som "*Frostprov. rep. ö.yta*", ett snitt mitt i sprutbetongen benämns "*Frostprov. rep. snitt*" och ett snitt i konstruktionsbetongen redovisas som "*Frostprov. K-btg*". Ifall frostbeständigheten bestäms både för betongens övre och undre del anges detta med tilläggen ÖK respektive UK.

Frostbeständigheten bestämdes i enlighet med provningsmetod SS 13 72 44:2005 med avsteget att endast ett eller två prov användes för provning i närvaro av sötvatten respektive saltvatten.

Betongens frostbeständighet bedöms som *Mycket god* ifall avflagningarnas medelvärde efter 56 fryscyklar är mindre än 0,10 kg/m<sup>2</sup>. Frostbeständigheten bedöms som *God* ifall avflagningarnas medelvärde är mindre än 0,20 kg/m<sup>2</sup> efter 56 cykler. Ifall avflagningarnas medelvärde är mindre än 1,0 kg/m<sup>2</sup> efter 56 frostcykler bedöms betongens frostbeständighet som *Acceptabel*. I händelse av att avflagningarna är än större är frostbeständigheten *Inte acceptabel*.

## 4 Resultat

I kommande avsnitt redovisas resultaten från de utförda provningarna på sprutbetongen respektive den underliggande konstruktionsbetongen hemmahörande från skiborden vid de fyra kraftverken. Dessutom beskrivs gjorda observationer från de okulära besiktningarna som utfördes i samband med borrningsarbetena.

Provningsresultat och gjorda observationer från 2020 års uppföljning jämförs om möjligt med motsvarande resultat och observationer från 1990-talets uppföljning.

### 4.1 HISSMOFORS KRAFTVERK

#### 4.1.1 Observationer vid besiktning och borrning

##### Utskov 1

Avbördning i utskov 1 sker ej under normala förhållanden utan endast efter behov vid höga flöden och i samband med funktionsprovning av luckor och utrustning. Påfrestningar från strömmande vatten inträffar sällan eller är ofta kortvariga.

Hela skibordet är belagt med sprutbetong. Inga fiber blandades in i betongen vid sprutning. Sprutbetongens tjocklek varierar över skibordet mellan 20 och 50 mm med ett uppskattat medelvärde kring 30 mm. Överytan var skrovlig och ojämn, vilket innebär att det inte utfördes någon efterbehandling av ytan efter sprutning.

Vid besiktningen noterades det att vatten sipprar fram genom en spricka i sprutbetongen i skibordets övre del, vilket syns som ett mörkare parti i Figur 14. Stora delar av skibordet täcks av mossor och andra sorters växtlighet, vilket framgår av Figur 15 och Figur 16. Ställvis påträffades släppor och bom i sprutbetongskiktet. Framförallt vid vattenläckage, längs sidorna där gjut- eller rörelsefogar sprutats över, samt utmed skibordets nedströmskant. Intill vissa släppor hade den kvarsittande sprutbetongen rest sig och det gick att sticka in en tumstock (Figur 16). Gällande skiborden i utskov 2 och 3 var tillståndet i det närmaste identiskt.



Figur 14. Hissmofors. Utskov 1. Utseendet hos skibordet i samband med utbörning av betongkärnorna.



Figur 15. Hissmofors. Utskov 1. Mossa och andra sorters växtlighet förekommer på stora delar av skibordet.



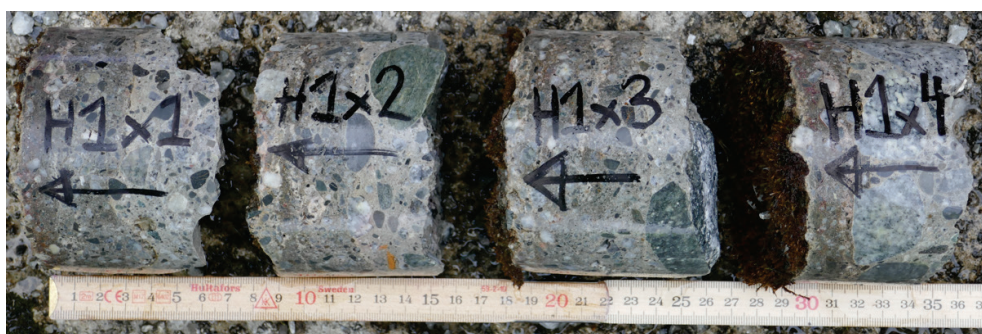
Figur 16. Hissmofors. Utskov 1. Ställvis hade sprutbetongskiktet släpp och den intilliggande sprutbetongen rest sig så upp till 20–30 mm så att det var möjligt att sticka in en tumstock under skiktet.

Med ledning av påborrade armeringsjärn kan det antas att i vattnets flödesriktning ligger armeringsjärnen med ett centrumavstånd av 400 mm. Tvärs flödesriktningen är motsvarande centrumavstånd 300 mm. När armering påborrades gjordes det på ett djup av cirka 100 mm. Detta ger ett täckande betongskikt med en tjocklek runt 70 mm utöver sprutbetongskiktets uppskattade tjocklek av cirka 30 mm.

Vid upptagning av betongkärnorna ur borrhålen där armeringsjärn hade påborrats knäcktes kärnorna runt 50–55 mm från ytan. Brottytan i konstruktionsbetongen var snedställd för tre av fyra kärnor, vilket kan ses i Figur 17. Att brottet inte skedde i nivå med armeringen indikerar att konstruktionsbetongen är försvagad upptill.

För fem av de sex betongkärnorna som borrades till fullt djup skedde brottet också i övre delen av konstruktionsbetongen. Först efter knäckning av resterande kärna skedde brottet i botten, runt 250–280 mm djup. Betongkärnorna kan ses i Figur 18.



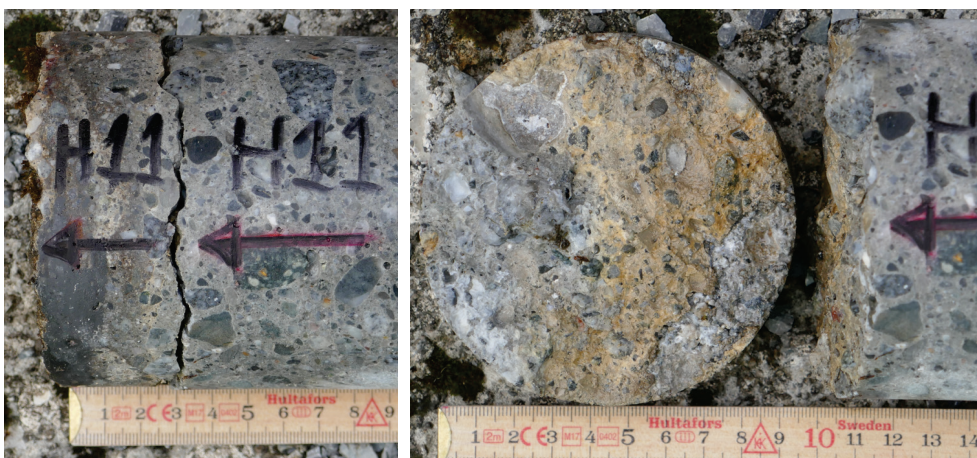


Figur 17. Hissmofors. Utskov 1. Upptagna betongkärnor från borrhålen där armeringsjärn påborrades. Pilen markerar skibordets överyta. Sprutbetongskiktets tjocklek varierar mellan 10 och 40 mm.



Figur 18. Hissmofors. Utskov 1. Upptagna betongkärnor från borrhålen som borrades till fult djup av 300 mm. Pilen markerar skibordets överyta. Tjockleken på sprutbetongskiktet varierar mellan 10 och 40 mm.

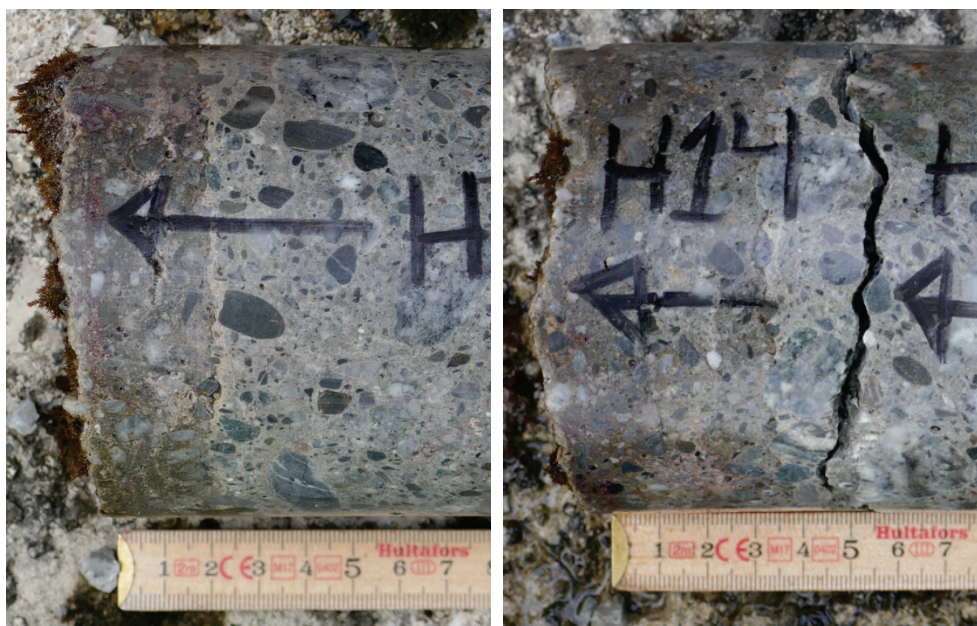
I betongkärna H11 inträffade brottet i delvis vidhäftningszonen och delvis i underliggande konstruktionsbetong (Figur 19). Brottytan var brunaktig, vilket indikerar att vatten har sipprat genom vidhäftningszonen som försvagats genom urlakning.



Figur 19. Hissmofors. Utskov 1. Brottytan i vidhäftningszonen är brunaktig till följd av genomsippande vatten.



På de flesta av betongkärnorna syntes en ljusbrun rand utmed vidhäftningszonen. Randen kan ses på kärnan till vänster i Figur 20. Betongkärnan till höger i samma figur får istället utgöra ett exempel på utseendet hos kärnorna som knäcktes i den övre delen av konstruktionsbetongen. I Figur 21 syns den övre delen av borrhålsväggen efter en av de uttagna betongkärnorna. Längs vidhäftningszonen mellan sprutbetong och konstruktionsbetong kan den ljusbruna randen ställvis skymtas.



Figur 20. Hissmofors. Utskov 1. I betongkärna H12 (t.v.) kan en ljusbrun rand noteras vid läget för vidhäftningszonen. I betongkärna H14 (t.h.) inträffade brotten mellan 5 och 15 mm under vidhäftningszonen.



Figur 21. Hissmofors. Utskov 1. Närbild på väggen i ett av borrhålen. En ljusbrun rand kan ses i kontaktzonen mellan sprutbetong och konstruktionsbetong. Ställvis har materialet längs randen nöts bort vid borrhållningen.

### Utskov 5

Avbördning i utskov 5 sker regelbundet eftersom utskovet används för att släppa förbi vatten när inte tillräckligt med vatten kan gå i kraftverket. Detta innebär att skibordet återkommande utsätts för påfrestningar från strömmande vatten.

Hela skibordsförlängningen nedströms det ombyggda utskovet är täckt med sprutbetong. Inga fiber tillsattes betongen inför sprutning. Tjockleken på sprutbetongskiktet varierar mellan 25 och 40 mm med ett uppskattat medelvärde runt 30 mm. Överytan var skrovlig och ojämn i likhet med skibordet i utskov 1. Det antas att det inte heller utfördes någon efterhandling av ytan efter sprutning i utskov 5.

Ställvis framsipprande vatten håller stora delar av skibordsförlängningen fuktig, vilket kan ses i Figur 7. Skador i egenskap av bom och släppor med varierande storlek påträffades. Bom noterades i huvudsak i närheten av gjutfogar i underliggande konstruktionsbetong. Ställvis har sprutbetongen försvunnit (Figur 22). Att successiv nedbrytning av sprutbetongen fortgår framgår vid jämförelse av fotografier från 2018 respektive 2022 (Figur 23). Ett större sjok sprutbetong har spjälkats bort. Skibordsförlängningens utseende 2020 framgår av Figur 7.



Figur 22. Hissmofors. Utskov 5. Skador i form av spjälkad sprutbetong vid gjutfogar i konstruktionsbetongen.



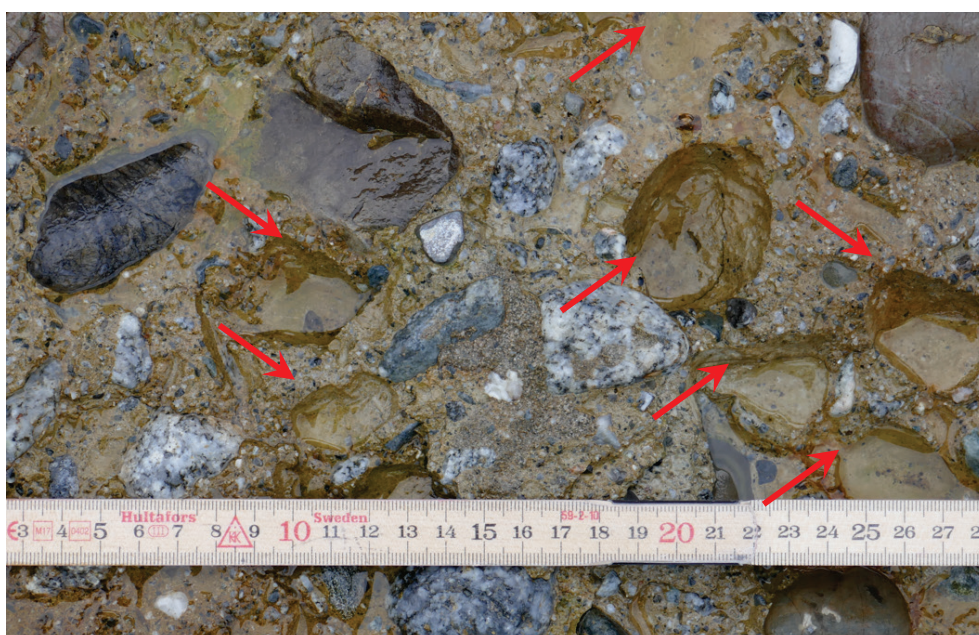
Figur 23. Hissmofors. Utskov 5. Ett större sjok sprutbetong har spjälkat loss (röd pil) mellan 2018 och 2022.



Ställvis har tunna skikt av sprutbetong släppt från underliggande sprutbetong. På andra ställen har hela sprutbetongskiktet släppt, vilket gör att den underliggande konstruktionsbetongen frilagts. Detta framgår av Figur 24. Ytan på konstruktionsbetongen uppvisar i många fall en ljusbrun kulör. Att betongen successivt bryts ned framgår vid kontroll av ytan där stenar antingen fryst eller nöts bort.



Figur 24. Hissmofors. Utskov 5. Exempel på skador på skibordsförlängningen där antingen tunna skikt av sprutbetong har släppt från underliggande sprutbetong eller där hela sprutbetongskiktet har spjälkats loss.



Figur 25. Hissmofors. Utskov 5. Närbild på ytan hos den underliggande konstruktionsbetongen. Att betongen undergår successiv nedbrytning åskådliggörs genom att stenar successivt fryser eller nöts bort (röda pilar).



I skibordsförlängningen påborrades armeringsjärn på cirka 200 mm djup från ytan. Detta ger ett täckande betongskikt med tjocklek runt 170 mm utöver sprutbetongskiktets tjocklek av cirka 30 mm. Både längs och tvärs vattnets flödesriktning förefaller armeringsjärnets centrumavstånd vara cirka 400 mm.

Vid knäckning av betongkärnorna inför upptagning ur borrhålen bröts sex av tio kärnor i den övre delen av underliggande konstruktionsbetong. Samtliga kärnor visas i Figur 26. Att brottet inte inträffade nära botten i borrhålet indikerar att försvagningar förekommer i den övre delen av konstruktionsbetongen.

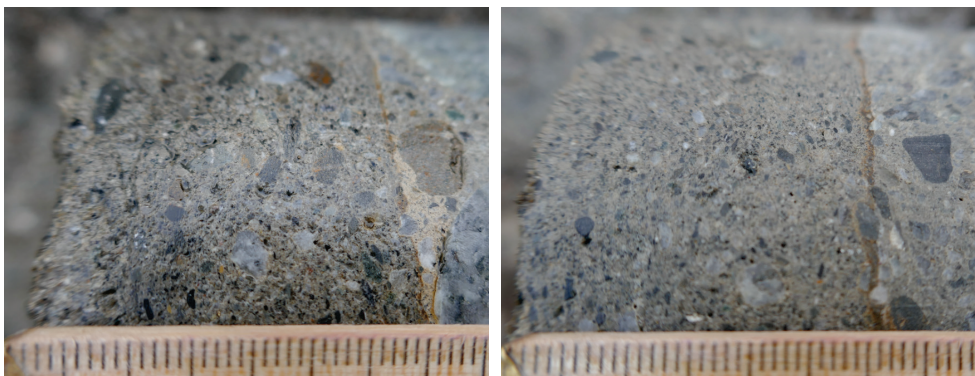
På de flesta av betongkärnorna syntes en ljusbrun rand utmed vidhäftningszonen. Randen kan ses med varierande tydlighet på kärnorna i Figur 27. I Figur 28 visas randen i förstoring. För betongkärnorna H55 och H57 inträffade brottet 5–10 mm ned i konstruktionsbetongen vid kärnornas knäckning.



Figur 26. Hissmofors. Utskov 5. Upptagna betongkärnor från borrhålen. Pilen markerar överytan hos skibordsförlängningen. Tjockleken på sprutbetongskiktet varierar mellan 25 och 40 mm.



Figur 27. Hissmofors. Utskov 5. I betongkärnorna kan en ljusbrun rand noteras vid läget för vidhäftningszonen. I betongkärnorna H55 och H57 inträffade brottet mellan 5 och 10 mm under vidhäftningszonen.



Figur 28. Hissmofors. Utskov 5. Närbild på den ljusbruna randen vid läget för vidhäftningszonen.

#### 4.1.2 Resultat från provtagning

I Tabell 1 presenteras provningsresultaten från 2020 års uppföljning av skibordsreparationerna utförda vid Hissmofors. Att notera är att frostbeständigheten hos underliggande konstruktionsbetong i närvaro av saltvatten varierar mellan *God* och *Inte acceptabel*. Detta tyder på att betongen saknar luftinblandning.

Sprutbetongens vidhäftningshållfasthet gick inte att bestämma eftersom samtliga brott inträffade i den underliggande konstruktionsbetongen. Draghållfastheten i den övre delen av konstruktionsbetongen understeg 1,0 MPa för alla prover. Det kan därför antas att sprutbetongens vidhäftningshållfasthet översteg detta värde.

Konstruktionsbetongens tryckhållfasthet är fullgod med värden kring 70 MPa. Att betongens draghållfasthet är mindre än 1,0 MPa tyder på att den är försvagad. En tumregel är att betongens draghållfasthet är cirka 1/10 av tryckhållfastheten. Vad som är orsak till försvagningen har inte undersökts närmare i denna studie.

Tabell 1. Provningsresultat från 2020 års uppföljning av sprutbetongreparationer av skibord vid Hissmofors kraftverk. Resultat från frostprovning som innebär *Inte acceptabel* frostbeständighet anges med röd färg.

|                                          | Skibord 1                                          | Skibord 5                                          |
|------------------------------------------|----------------------------------------------------|----------------------------------------------------|
| Reparationsmaterial:                     | Sprutbetong                                        | Sprutbetong                                        |
| Typ av fiber:                            | -                                                  | -                                                  |
| Frostprovn. rep. ö.yta (sötvatten) 2020: | 0,01 kg/m <sup>2</sup>                             | 0,01 kg/m <sup>2</sup>                             |
| Frostprovn. rep. ö.yta (3 % NaCl) 2020:  | 0,02 kg/m <sup>2</sup>                             | 0,83 kg/m <sup>2</sup>                             |
| Frostprovn. K-btg ÖK (sötvatten) 2020:   | 0,00 kg/m <sup>2</sup>                             | 0,00 kg/m <sup>2</sup>                             |
| Frostprovn. K-btg ÖK (3 % NaCl) 2020:    | 6,12 kg/m <sup>2</sup>                             | 0,37 kg/m <sup>2</sup>                             |
| Frostprovn. K-btg UK (sötvatten) 2020:   | 0,01 kg/m <sup>2</sup>                             | 0,00 kg/m <sup>2</sup>                             |
| Frostprovn. K-btg UK (3 % NaCl) 2020:    | 0,63 kg/m <sup>2</sup>                             | 2,88 kg/m <sup>2</sup>                             |
| Tryckhållf. K-btg 2020:                  | 68,7 MPa                                           | 73,0 MPa                                           |
| Densitet K-btg 2020:                     | 2 407 kg/m <sup>3</sup>                            | 2 387 kg/m <sup>3</sup>                            |
| Vidhäftningshållf. rep. / K-btg 2020:    | 0,40 MPa K-btg<br>0,95 MPa K-btg<br>0,65 MPa K-btg | 0,15 MPa K-btg<br>0,30 MPa K-btg<br>0,10 MPa K-btg |



## 4.2 KRAFTVERK 2

### 4.2.1 Observationer vid besiktning och borrhning

#### Utskov C

Avbördning i utskov C sker primärt i samband med höga flöden. Detta innebär att skibordet inte utsätts för regelbundna påfrestningar från strömmande vatten.

Vid besiktning av skibordet i samband med 2020 års uppföljning noterades i likhet Nordström (1996) att stålfiber finns i ytan och att dessa är korroderade. Detta kan ses i Figur 29. I figuren syns även lagningarna efter 1996 års uppföljning. Överlag är sprutbetongens överyta jämn med endast mindre skrovligheter, eventuellt till följd av mindre släppor i ytskiktet. Vidare noterades ett fint krackeleringsmönster ställvis på skibordets övre del tillsammans med några få horisontellt orienterade sprickor. Någon nedbrytning av sprutbetongen intill sprickorna noterades ej.

Intill vänster pelare noterades påväxt av mossa, vilket kan ses i Figur 30. Denna del av skibordet befinner sig i skugga större delen av dagen. Utmed höger pelare rann vatten från en läckande tätning i utskovsluckan. Några skador kunde inte noteras i området. Beträffande motsvarande skibord i utskov D rann det vatten utmed båda pelarna. Ställvis noterades det skador intill pelarsidorna. Skadorna visas i Figur 31. Mindre skador fanns också vid skibordets slut i anslutning till kantskoningen. I övrigt var tillståndet likartat för de övriga sprutbetongreparerade skiborden.

Vid utborrning av betongkärnorna uppmättes tjockleken på sprutbetongskiktet till ett intervall mellan 90 och 140 mm. Genomsnittlig tjocklek låg runt 100 mm. Ingen bom påträffades i sprutbetongen vid knackning. Med ledning av de armeringsjärn som påbörades ligger järnen i vattnets flödesriktning med ett centrumavstånd av 400 mm. Armering påträffades vid ett djup kring 125 mm, vilket ger ett täckande betongskikt på 25 mm utöver sprutbetongskiktets tjocklek av cirka 100 mm.



Figur 29. Kraftverk 2. Utskov C. Korroderade stålfiber finns i ytan. En av skibordets gjut- eller rörelsefogar syns mitt i bilden tillsammans med lagningarna efter 1996 års uppföljning.



Figur 30. Kraftverk 2. Utskov C. Mossa växer på skibordet intill vänster pelare där skugga vanligtvis råder.



Figur 31. Kraftverk 2. Utskov D. Intill höger pelare rann det vatten från en läckande utskovstätning. Skador noterades längs anslutningen mot pelarsidan. Skadornas utbredning i längdled uppskattades till 1,5 m.



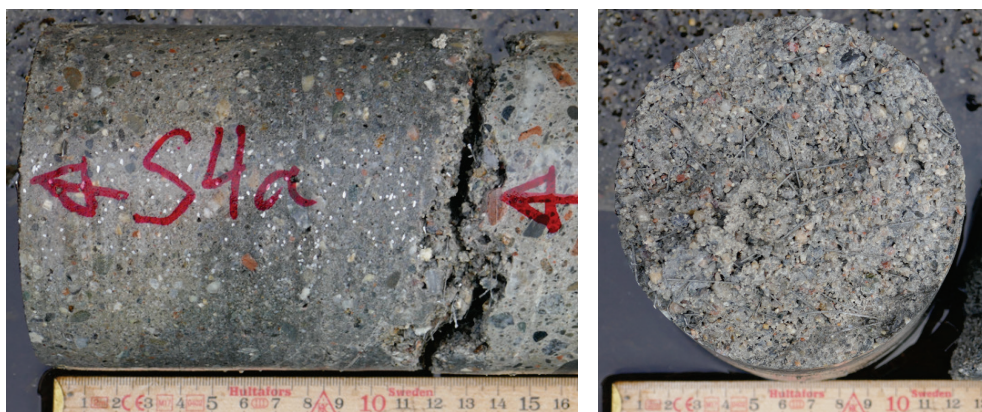
Vid knäckning av betongkärnorna som borrades till fullt djup inträffade brottet vid borrhålets botten i fyra av sju kärnor. Sprutbetongen hade applicerats i ett eller två påslag, vilket syns i Figur 32 och Figur 33. I resterande kärnor inträffade brottet i sprutbetongen (Figur 34), i ytskiktet på konstruktionsbetongen (Figur 35) eller kombinerat i vidhäftningszonen och konstruktionsbetongen (Figur 36).



Figur 32. Kraftverk 2. Utskov C. Sprutbetongens tjocklek är cirka 100 mm. Pilen markerar skibordets överyta.



Figur 33. Kraftverk 2. Utskov C. Sprutbetongen har lagts på i två påslag om cirka 70 + 40 mm.

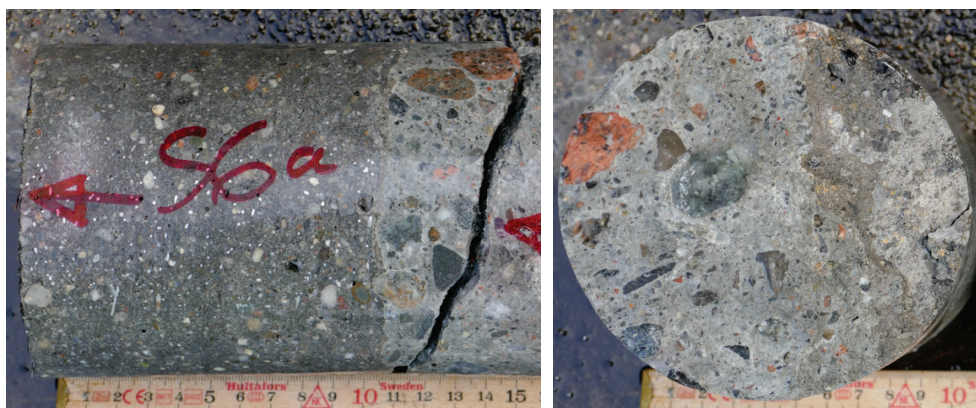


Figur 34. Kraftverk 2. Utskov C. Knäckning av betongkärnan inträffade i en porös zon i sprutbetongens nedre del (t.v.). Sprutbetongen bär inga tecken på att vatten sipprat i zonen. Stålfibrerna har ej korroderat (t.h.).



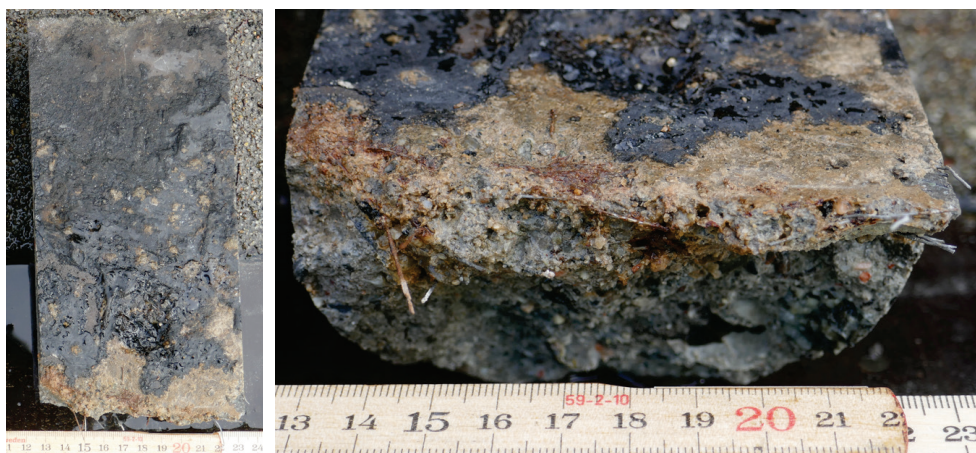


Figur 35. Kraftverk 2. Utskov C. Knäckning av betongkärnan skedde i den övre millimetern av konstruktionsbetongen (t.v.). Ljusbruna partier indikerar att betongen har försvagats av genomsippande vatten (t.h.).



Figur 36. Kraftverk 2. Utskov C. Knäckning inträffade både i vidhäftningszonen och konstruktionsbetongen.

Fogen mellan de två sprutbetongsektionerna (syns i Figur 29) som följer gjut- eller rörelsefog i underliggande konstruktionsbetong var bestruken med asfalt. Mindre tecken noterades på att vatten rinner längs med fogen.



Figur 37. Kraftverk 2. Utskov C. Asfaltbestrykt fog mellan två sprutbetongsektioner (t.v.). Brottyta nedtill (t.h.).

#### 4.2.2 Resultat från provtagning

I Tabell 2 redovisas provningsresultaten från 2020 års uppföljning av sprutbetongreparationen på skibord C vid kraftverk 2. När det finns resultat från utförandeskedet 1989 respektive uppföljningen 1996 redovisas dessa också i tabellen.

Sprutbetongens vidhäftningshållfasthet översteg i de tre provade betongkärnorna 1,65 MPa, vilket var mer än snittet på 1,3 MPa vid 1996 års uppföljning. Brottet inträffade i huvudsak i vidhäftningszonen eller i konstruktionsbetongen. Vid bestämning av vidhäftningshållfastheten mellan två påslag med sprutbetong uppmättes den till minst 2,3 MPa. Det kan också konstateras att både sprutbetongens och konstruktionsbetongens tryckhållfasthet är hög.

Beträffande sprutbetongens frostbeständighet i en sågad yta är den *Mycket god* i närvaro av både söt- och saltvatten. För sprutbetongens (skibordets) yta är frostbeständigheten något sämre, troligtvis till följd av urlakning och försvagning av ytskiktet. Frostbeständigheten hos den underliggande konstruktionsbetongen är *God* i närvaro av saltvatten och *Mycket god* i närvaro av sötvatten.

Tabell 2. Provningsresultat från 2020 års uppföljning av sprutbetongreparationer av skibord C vid kraftverk 2.

|                                          | Skibord C               |                        |
|------------------------------------------|-------------------------|------------------------|
| Reparationsmaterial:                     | Sprutbetong             |                        |
| Typ av fiber:                            | Stålfiber               |                        |
| Frostprovn. rep. ö.yta (sötvatten) 2020: | 0,01 kg/m <sup>2</sup>  |                        |
| Frostprovn. rep. ö.yta (3 % NaCl) 2020:  | 0,23 kg/m <sup>2</sup>  |                        |
| Frostprovn. rep. snitt (sötvatten) 2020: | 0,00 kg/m <sup>2</sup>  |                        |
| Frostprovn. rep. snitt (3 % NaCl) 2020:  | 0,01 kg/m <sup>2</sup>  |                        |
| Frostprovn. K-btg UK (sötvatten) 2020:   | 0,00 kg/m <sup>2</sup>  |                        |
| Frostprovn. K-btg UK (3 % NaCl) 2020:    | 0,54 kg/m <sup>2</sup>  |                        |
| Tryckhållf. K-btg 2020:                  | 78,7 MPa                |                        |
| Densitet K-btg 2020:                     | 2 436 kg/m <sup>3</sup> |                        |
| Tryckhållf. rep. 1989 (utförandeskedet): | 85 MPa                  |                        |
| Tryckhållf. rep. 2020:                   | 101,7 MPa               |                        |
| Densitet rep. 2020:                      | 2390 kg/m <sup>3</sup>  |                        |
| Fibermängd 1989 (utförandeskedet):       | 50 kg/m <sup>3</sup>    |                        |
| Fibermängd 2020:                         | 67 kg/m <sup>3</sup>    |                        |
| Vidhäftningshållf. rep. / K-btg 1996:    | 1,7 MPa                 | 5 % rep. / 95 % K-btg  |
|                                          | 1,0 MPa                 | 30 % rep. / 70 % K-btg |
|                                          | 1,2 MPa                 | 20 % rep. / 80 % K-btg |
| Vidhäftningshållf. rep. / K-btg 2020:    | 2,10 MPa                | K-btg                  |
|                                          | 1,90 MPa                | 10 % rep. / 90 % K-btg |
|                                          | 1,65 MPa                | vhz                    |
| Vidhäftningshållf. rep. / rep. 2020:     | 2,30 MPa                | övre rep.              |
|                                          | 2,60 MPa                | 50 % vhz / 50 % rep.   |



### 4.3 KATTSTRUPEFORSENS KRAFTVERK

#### 4.3.1 Observationer vid besiktning och borring

##### Utskov 2

Avbördning i utskov 2 sker regelbundet eftersom utskovet används för att släppa förbi vatten när inte tillräckligt med vatten kan gå i kraftverket. Detta innebär att skibordet återkommande utsätts för påfrestningar från strömmande vatten.

Hela skibordet i utskov 2 är belagt med sprutbetong, vilket kan ses i Figur 38. Inga fiber tillsattes betongen innan sprutning. Sprutbetongens tjocklek ser ut att variera i huvudsak mellan 5 och 85 mm med ett medelvärde runt 25 mm. Sprutbetongens överyta var skrovlig och ojämn, vilket framgår av Figur 39. Detta innebär att det inte utfördes någon efterbehandling av ytan efter sprutning. Lokalt noterades förekomster av mindre släppor i form av tunna skikt av sprutbetong.



Figur 38. Kattstrupeforsen. Utskov 2. Utseendet hos skibordet i samband med utbörning av betongkärnorna.

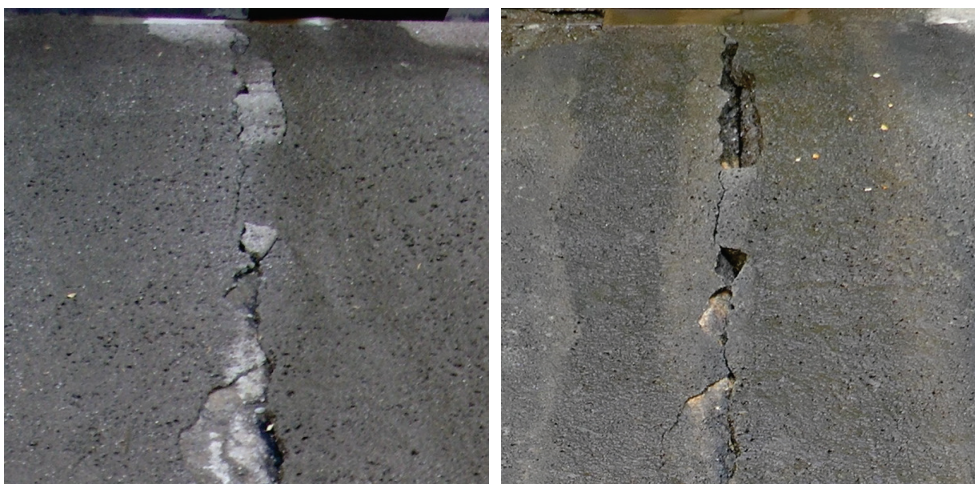


Figur 39. Kattstrupeforsen. Utskov 2. Skrovlig yta (t.v.). Tunna släppor förekom (ljus kulör t.h.).

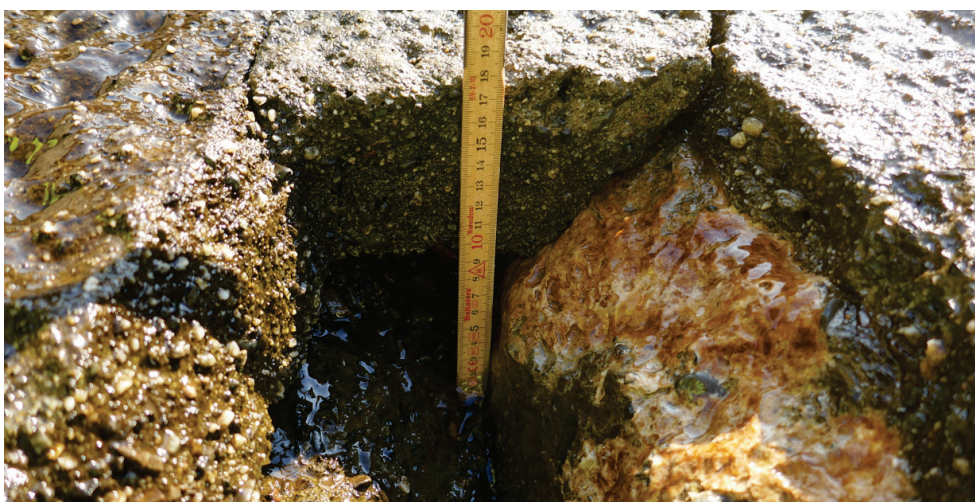


Skibordet konstruerades ursprungligen med en längsgående rörelsefog i mitten. Vid reparationsarbetet sprutades fogen över utan att en fortsatt fog anordnades i sprutbetongskiktet. Till följd av rörelser i skibordsmonoliterna har sprutbetongen sedan spruckit längs fogen, vilket framgår av Figur 41. Skadorna kring fogen når som mest cirka 180 mm djup. Detta innebär att de sträcker sig ned i konstruktionsbetongen till knappt hälften av skibordets tjocklek. Kalkutfällningar i rörelsefogen tyder dessutom på att vatten ställvis rinner under sprutbetongen (Figur 41). Små utfällningar i ytan i närheten av en större spjälkningsskada intill tröskelplåten indikerar också att vatten lokalt läcker under sprutbetongskiktet (Figur 42).

Vid bomknackning noterades det att bom förekommer ställvis, även i partier som inte ligger i anslutning till några fogar. Läckande lucktätningar gör att stora delar av skibordet hålls fuktigt av rinnande vatten. Antalet små släppor i egenskap av tunna skikt av sprutbetong är fler i fuktiga områden jämfört med torra partier.



Figur 40. Kattstrupeforsen. Utskov 2. Skador längs rörelsefogen. Foto från 2007 (t.v.) och 2020 (t.h.).



Figur 41. Kattstrupeforsen. Utskov 2. Djupet på skadorna längs skibordets rörelsefog uppgår lokalt till 180 mm. Förekomsten av kalkutfällningar tyder på att vatten ställvis rinner under sprutbetongskiktet.





**Figur 42. Kattstrupeforsen. Utskov 2. Mindre krackelering och kalkutfällningar i sprutbetongskiktet. De röda pilarna markerar läget för en större skada (1 x 1 m) där sprutbetongen har släppts och armeringsjärn frilagts.**

Nedanströms skibordet i utskov 2 finns det en kort skibordsförlängning där ytan i det närmaste är horisontell. I området har sprutbetongen ställvis spjälkats bort och underliggande armeringsjärn frilagts. Skadorna är störst längs nedströmskanten och i närheten av den förlängda rörelsefogen från skibordet.

I intilliggande utskov 3 har skibordsförlängningen större dimensioner. Dessutom är skadorna mer omfattande. Läckande lucktätningar innebär att vatten ansamlas på den horisontella ytan, vilket ökar risken för frostnedbrytning av sprutbetongskiktet. I de centrala delarna har sprutbetongen spjälkats bort. Detta medför att nedbrytningen fortsätter ned i konstruktionsbetongen där armeringsjärn har frilagts längs nedströmskanten, vilket kan ses i Figur 43. Vid kontroll kunde tumstocken stickas in uppåt en decimeter under kvarsittande sprutbetong.



**Figur 43. Kattstrupeforsen. Utskov 3. Nedbrytning av sprut- och konstruktionsbetong har frilagt armeringsjärn.**



I skibordet i utskov 2 påborrades armeringsjärn på cirka 100 mm djup från ytan. Detta ger ett täckande betongskikt med tjocklek runt 75 mm utöver sprutbetongskiktets tjocklek av cirka 25 mm. Armeringsjärn i vattnets flödesriktning har ett centrumavstånd av 200 mm. Tvärs flödesriktningen kan det vara 400–500 mm.

Vid knäckning av betongkärnorna som hade borrats till fullt djup bröts fem av elva kärnor i den övre delen av underliggande konstruktionsbetong. En kärna bröts i vidhäftningszonen. Resterande fem kärnor knäcktes vid borrhålets botten.

Ojämn betongkvalitet noterades i några av kärnorna. I Figur 44 visas två exempel. Kärna K1 har ett gjutsår till följd av att betongen inte har bearbetats tillräckligt. I kärna K2 finns det en spricka eller skiktning parallellt med kärnans överyta cirka 10–20 mm under sprutbetongskiktet, det vill säga i konstruktionsbetongen.

I Figur 45 visas tre kärnor där brottet i två av dem inträffade under sprutbetongen. I den ena av dem bröts kärnan på två ställen. Vad som också bör påpekas är att i ingen av kärnorna kunde en ljusbrun rand noteras utmed vidhäftningszonen.



Figur 44. Kattstrupeforsen. Utskov 2. Två betongkärnor. Kärna K1 har ett gjutsår på sidan (t.v.) och i kärna K2 kan det noteras en spricka eller skiktning parallellt med överytan cirka 10–20 mm under sprutbetongen (t.h.).



Figur 45. Kattstrupeforsen. Utskov 2. Tre betongkärnor utan (t.v.) respektive brott i konstruktionsbetongen.

#### 4.3.2 Resultat från provtagning

I Tabell 3 redovisas provningsresultaten från 2020 års uppföljning av sprutbetongreparationen på skibord 2 vid Kattstrueforsen. Att notera är att sprutbetongens frostbeständighet är sämre jämfört med övriga skibord i denna studie. Detta i närvaro av både söt- och saltvatten vid frostprovningen. Resultaten ligger förhållandevis nära motsvarande resultat för skibord 5 vid Hissmofors.

Frostbeständigheten hos skibordets konstruktionsbetong är *Inte acceptabel* i närvaro av saltvatten. Avskalningarna är förvisso mindre än kravet på 1,0 kg/m<sup>2</sup>, men eftersom  $m56/m28 > 2$  medför det att avskalningen anses vara accelererad. Resultaten indikerar att betongen har viss luftinblandning, även om det artificiellt skapade luftporsystemet inte uppfyller dagens krav för erforderlig frostbeständighet. I närvaro av sötvatten är frostbeständigheten däremot *Mycket god*.

Sprutbetongens vidhäftningshållfasthet uppmättes till 0,3 MPa när brottet skedde i vidhäftningszonen. För övriga provade kärnor inträffade brottet i underliggande konstruktionsbetong med en brottspänning mellan 0,15 och 0,35 MPa. I ljuset av betongkärnorna som knäcktes i konstruktionsbetongen strax under sprutbetongskiktet i samband med borrhinsarbetet är dessa värden inte överraskande.

Konstruktionsbetongens tryckhållfasthet är fullgod med värden kring 75 MPa. Att betongens draghållfasthet är mindre än 0,4 MPa indikerar att den är försvagad i ytskiktet. Som tidigare nämnts är en tumregel att betongens draghållfasthet bör vara cirka 1/10 av tryckhållfastheten. Orsaken till försvagningen i betongens ytskikt har inte undersökts närmare inom ramen för denna studie.

Tabell 3. Provningsresultat från 2020 års uppföljning av sprutbetongreparationer av skibord 2 vid Kattstrueforsens kraftverk. Resultat från frostprovning som innebär *Inte acceptabel* frostbeständighet anges i rött.

|                                          | Skibord 2                                                         |
|------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------|
| Reparationsmaterial:                     | Sprutbetong                                                       |
| Typ av fiber:                            | -                                                                 |
| Frostprovn. rep. ö.yta (sötvatten) 2020: | 0,12 kg/m <sup>2</sup>                                            |
| Frostprovn. rep. ö.yta (3 % NaCl) 2020:  | 1,05 kg/m <sup>2</sup>                                            |
| Frostprovn. K-btg ÖK (sötvatten) 2020:   | 0,00 kg/m <sup>2</sup>                                            |
| Frostprovn. K-btg ÖK (3 % NaCl) 2020:    | 0,24 kg/m <sup>2</sup> m56/m28 = 2,60*                            |
| Frostprovn. K-btg UK (sötvatten) 2020:   | 0,00 kg/m <sup>2</sup>                                            |
| Frostprovn. K-btg UK (3 % NaCl) 2020:    | 0,72 kg/m <sup>2</sup> m56/m28 = 2,42*                            |
| Tryckhållf. K-btg 2020:                  | 75,4 MPa                                                          |
| Densitet K-btg 2020:                     | 2 373 kg/m <sup>3</sup>                                           |
| Vidhäftningshållf. rep. / K-btg 2020:    | 0,15 MPa K-btg<br>0,30 MPa 20 % rep. / 80 % vzh<br>0,35 MPa K-btg |

\* Kvoten mellan massan av avskalat material efter 56 respektive 28 dygn ska vara < 2. Uppfylld av kravet visar att avskalningen inte är accelererad. > 2 medför accelererad avskalning.



#### 4.4 KRAFTVERK 4

##### Utskov C

I Tabell 4 återges resultaten från undersökningen utförd av Nordström (1996). Det kan konstateras att vidhäftningshållfastheten efter reparationens utförande och i samband med uppföljningen 1996 låg nära eller översteg det rekommenderade värdet av 1,5 MPa. Farhågan om att stålglättning skulle försämra vidhäftningshållfastheten kunde ej beläggas.

Innan skibordet i utskov C byggdes om noterades det vid en fördjupad inspektion att det förekom "*mindre sprickor och frilagd armering*". För skiborden i utskov A och B påträffades dessutom områden med bom, sprickor och spjälkning. Gemensamt för de tre skiborden var att skadorna i huvudsak var koncentrerade till de nedre delarna och utmed skibordets sidor där vatten rinner från otäta lucktätningar.

Tabell 4. Kraftverk 4. Utskov C. Vidhäftningshållfasthet för sprutbetong som stålglättades respektive inte stålglättades i samband med reparation 1990. Resultat både från 1990 och 1996 års uppföljning.

|                                             | Skibord C         |                        |
|---------------------------------------------|-------------------|------------------------|
| Reparationsmaterial:                        | Sprutbetong       |                        |
| Typ av fiber:                               | Polypropylenfiber |                        |
| Vidhäftningshållf. stålglättad yta 1990:    | 1,7 MPa           | K-btg                  |
|                                             | 2,0 MPa           | K-btg                  |
| Vidhäftningshållf. stålglättad yta 1996:    | 2,1 Mpa           | K-btg                  |
|                                             | 1,7 Mpa           | K-btg                  |
|                                             | 2,1 MPa           | K-btg                  |
| Vidhäftningshållf. ej stålglättad yta 1990: | 2,2 MPa           | K-btg                  |
|                                             | 1,9 MPa           | K-btg                  |
| Vidhäftningshållf. ej stålglättad yta 1996: | 1,1 MPa           | K-btg                  |
|                                             | 1,6 MPa           | K-btg                  |
|                                             | 1,7 MPa           | 40 % rep. / 60 % K-btg |

## 5 Diskussion och slutsatser

I denna studie har skibord, vilka reparerades med sprutbetong under 1990-talet, undersökts med avseende på reparationernas beständighet. Uppföljningen har utförts genom okulära besiktningar med betongprovtagning och efterföljande analyser. Resultat från 2020 års uppföljning har om möjligt jämförts med motsvarande resultat från 1996 års uppföljning av Nordström (1996).

När tillämpligt diskuteras även erhållna resultat i ljuset av resultat och iakttagelser som gjordes i samband med 2000 års uppföljning av Björkenstam (2001) och 2018 års uppföljning av Rosenqvist (2019). Till sist förs ett enklare resonemang kring orsaker och möjliga nedbrytningsförlopp för sprutbetongreparerade skibord.

### 5.1 FÄLT- OCH LABORATORIEUNDERSÖKNINGAR

Vid okulär besiktning av skiborden, i kombination med bomknackning och kärnborrning, gjordes ett flertal observationer. Dessa observationer kan anses vara av generell karaktär för skiborden. Observationerna sammanfattas i korthet nedan:

- Större risk för bom i sprutbetongskikt med tunna påslag om 20–30 mm.
- Större risk för bom vid rinnande vatten från otäta lucktätningar.
- Större risk för bom där skibordet har svag eller ingen lutning.
- Har bom och spjälkning av sprutbetongskiktet väl inträffat tenderar skadan att växa i omfattning över tid.
- Översprutade rörelsefogar och ej helt stumma gjutfogar ökar risken för skador då rörelser i konstruktionen leder till sprickbildning.
- Vid tunna påslag kan ofta en ljusbrun rand ses i vidhäftningszonen, vilket kan innebära att sprutbetongen applicerades på en försvagad betongyta.
- Vid bortspolat sprutbetongskikt framträder ofta konstruktionsbetong med tydliga tecken på nedbrytning. Större ballastkorn släpper allteftersom.
- Vid uttag av betongkärnorna knäcktes de i relativt stor utsträckning strax under sprutbetongskiktet, vilket tyder på försvagad betong nära ytan.
- Inget tydligt samband kunde identifieras mellan regelbunden avbördning i utskovet och mängden eller typen av skador i skibordets sprutbetongskikt. Ett skibord kan ha betydande skador trots att det sällan används, vilket riklig förekomst av mossa och annan växlighet är en indikator på.

Vid laboratorieprovning undersöktes sprutbetongens frostbeständighet i närvaro av både söt- och saltvatten. Detsamma gäller konstruktionsbetongen. Om möjligt användes både betong från nära överytan och från större djup. Vidare bestämdes sprutbetongens vidhäftningshållfasthet. Om möjligt bestämdes tryckhållfasthet och densitet för både konstruktionsbetongen och sprutbetongen. Nedan sammanfattas resultaten i generella ordalag:



- Sprutbetongmaterialet har i många fall god frostbeständighet. Till och med i den tuffaste exponeringsmiljön i närvaro av saltvatten. Detta trots att det ställvis kan förekomma bom och spjälkning av sprutbetongskiktet.
- Frostbeständigheten hos konstruktionsbetongen i närvaro av sötvatten är ofta *Mycket god*. Resultaten överensstämmer mindre bra med det faktum att skibordet behövde repareras till följd av bristande beständighet.
- Frostbeständigheten ofta undermålig hos konstruktionsbetongen i närvaro av saltvatten. Detta tyder på att betongen saknar luftinblandning. Däremot noterades i en del fall bättre frostbeständighet hos konstruktionsbetongen från större djup jämfört med betong från området nära överytan.
- Tunt påslag sprutbetong: Draghållfastheten är för det mesta lägre i den övre delen av konstruktionsbetongen jämfört med vidhäftningszonen. Brottet inträffade ofta i de översta millimetrarna av konstruktionsbetongen. Faktisk vidhäftningshållfasthet är därför ej uppmätt.
- Tunt påslag sprutbetong: Konstruktionsbetongens draghållfasthet i området strax under sprutbetongskiktet var  $< 1,0$  MPa.
- Tunt påslag sprutbetong: Draghållfastheten hos konstruktionsbetongen är i medel cirka 1 % av tryckhållfastheten, trots att tumregeln innebär att betongens draghållfasthet bör vara cirka 10 % av tryckhållfastheten. Resultatet indikerar ett försvagat ytskikt i konstruktionsbetongen.
- Tjockt påslag sprutbetong: Vidhäftningshållfasthet och draghållfasthet hos konstruktionsbetongen var  $> 1,5$  MPa. Uppfyller rekommenderat värde.
- Hög tryckhållfasthet uppmättes hos underliggande konstruktionsbetong.

Med utgångspunkt i de genomförda fält- och laboratorieundersökningarna kan det antas att risken för reducerad beständighet hos sprutbetongreparationerna verkar vara högre vid tunna påslag jämfört med tjocka dito. Detta antagande ligger i linje med observationer gjorda av Nordström (1996) där skador i de undersökta sprutbetongreparationerna främst påträffades vid tunna påslag.

## 5.2 POTENTIELLA ORSAKER TILL REDUCERAD BESTÄNDIGHET

Bakomliggande orsaker till försämrad beständighet hos skibord med tunna sprutbetongskikt kan antas vara flera. Att reparationens bristande beständighet skulle bero på exempelvis låg frostbeständighet hos sprutbetongmaterialet kan ej anses vara en generell orsak. I denna studie har det visats att sprutbetongen från tre av fyra skibord har *Mycket god* frostbeständighet i närvaro av sötvatten. I närvaro av saltvatten, vilket är en betydligt tuffare exponeringsmiljö och som vanligtvis kan påträffas i vägmiljö, hade tre av fyra skibord minst *Acceptabel* frostbeständighet. Det bör dock påpekas att i Rosenqvist (2019) hade sprutbetongmaterialet från ett skibord *Inte acceptabel* frostbeständighet i närvaro av sötvatten. Detta visar att det finns stor spridning i frostbeständigheten hos befintliga sprutbetongreparationer.

Vad som också noterades i denna studie är att den underliggande konstruktionsbetongen tenderar att ha försämrade egenskaper i en zon under sprutbetongen.

Exempelvis verkar konstruktionsbetongens frostbeständighet vara reducerad i denna zon vid jämförelse med större djup från ytan. Att ett flertal betongkärnor knäcktes i konstruktionsbetongens övre del vid uttag är ytterligare en indikation på försämrade egenskaper i zonen strax under sprutbetongen. En tredje notering av reducerad kvalitet hos den ytliga konstruktionsbetongen är att brott uppstod i denna del hos en majoritet av proverna vid försök att bestämma sprutbetongens vidhäftningshållfasthet. Istället bestämdes den ytliga betongens draghållfasthet.

Orsakerna till de sämre egenskaperna hos den ytliga konstruktionsbetongen kan vara flera. En tänkbar orsak kan vara att betongen redan från början hade sämre egenskaper nära skibordets yta. En annan orsak kan vara att skadad betong inte avverkades i tillräcklig omfattning i samband med reparationsarbetets utförande.

En tredje orsak kan vara att betongens nedbrytning har fortsatt efter reparationen. Den bruna randen som observerades i vidhäftningszonen på ett flertal prover kan vara en indikation på att inte tillräckligt mycket skadad betong togs bort. Randen kan också tyda på att vatten sipprat fram längs vidhäftningszonen och över tid resulterat i urlakning och försämrade egenskaper i detta skikt.

Under förutsättning att det finns god tillgång på vatten, till exempel via läckage från otäta lucktätningar, är det inte orimligt att anta att vatten kan leta sig fram längs ett permeabelt skikt under sprutbetongen. Om detta sker ökar dessutom risken för frostsador. När vatten fryser till is ökar vattnets volym med cirka 9 %. Frysning av instängt vatten kan därför orsaka spjälkning av sprutbetongen. Finns det samtidigt en temperaturgradient över skibordet kan det under ofördelaktiga förutsättningar bildas en islin som initierar eller förvärrar spjälkningsprocessen.

Sprutbetongens krympning till följd av materialets uttorkning kan också leda till sprickbildning. Risken för denna typ av sprickbildning ökar om sprutning sker över alltför stora områden utan någon uppdelning sker i begränsade sektioner. Underliggande konstruktionsbetong bör dessutom betraktas som stum i detta avseende. Sprickbildning i sprutbetongsskiktet kan accelerera nedbrytning i och med att sprickorna underlättar fuktinledning till vidhäftningszonen.

### 5.3 PRAKTISKA ASPEKTER

Iakttagelser gjorda i föreliggande studie, tillsammans med erfarenheter från äldre studier av Nordström (1996), Björkenstam (2001) och Rosenqvist (2019), visar att det förekommer stor spridning i tillståndet hos sprutbetongreparerade skibord. I denna studie konstateras det också att bristande beständighet hos reparationen inte enbart beror på sprutbetongens egenskaper. Försvagad betong under sprutbetongen medför också att reparationens beständighet försämras.

En sprutbetongreparation bör följaktligen betraktas som ett system bestående av sprutbetong och underliggande konstruktionsbetong. En tredje komponent som inte bör negligeras är praktiska aspekter inför respektive under reparationens genomförande. Inför reparation av ett skadat skibord bör förutsättningarna kartläggas. Detta omfattar exempelvis skadeutbredning och skadedjup.

I en studie angående reparationsmaterial för ytligt skadade betongkonstruktioner i vattenkraftsmiljö lyfter Hassanzadeh (2022) fram hur viktigt det är att i planerings-

skedet bestämma skadeorsak, skadeutbredning och skadedjup. Bestämningen görs lämpligen genom okulär besiktning i kombination med uttag av betongprover för efterföljande kärnkartering och analyser vid betonglaboratorium.

Först när skadans kännetecken och omfattning är kända bör reparationsmetoden fastställas. Vid val av reparationsmetod bör dessutom hänsyn tas till förväntad exponeringsmiljö i form av fysikaliska, kemiska och mekaniska påfrestningar. Krav på reparationens förväntade tekniska livslängd tillsammans med erfarenheter av liknande reparationer bör också beaktas vid valet av reparationsmetod.

Vid utvärdering av lämpliga reparationsmetoder bör det, med avseende på sprutbetong, beaktas att tunna skikt verkar vara känsligare för nedbrytning än tjockare skikt. Om möjligt bör det säkerställas att påslag ned mot 20–30 mm kan undvikas.

Likasa bör det undvikas att sprutbetongen spetsas ut över underliggande betong eller att sprutbetongskiktet görs tunnare vid avslut. Full tjocklek bör eftersträvas i hela reparationsområdet. Avslut görs med skarp kant. Det bör också bedömas om sprutbetong är en lämplig metod vid svagt lutande ytor där erfarenheter tyder på större risk för återkommande skador. Förvisso kan denna risk reduceras om återstuds samlas upp och ej tillåts att sprutas in och försämra kvaliteten.

Att avverka skadad betong med försämrade egenskaper är en förutsättning för att erhålla en frisk betongyta som sprutbetongen kan appliceras på. Vattenbilning bör väljas eftersom det är en selektiv metod som avlägsnar försvagad betong och efterlämnar en frisk betongyta. Att avverka all betong med försämrade egenskaper reducerar risken för bristande beständighet hos reparationen.

I planeringsskedet av en reparation bör det övervägas om sprutbetongen ska vara fiberarmerad eller ej. Fiber har en sprickfördelande effekt och reducerar risken för svaga punkter i reparationen där vatten kan leta sig ned under sprutbetongskiktet och orsaka urlakning och frostsador. I planeringsskedet bör det säkerställas att förekommande rörelsefogar inte sprutas över, utan att åtgärder vidtas så att rörelser i konstruktionen medges utan att sprutbetongreparationen skadas. Gjutfogar som ej är helt stumma bör hanteras på samma sätt.

I utförandeskedet är det viktigt att betongytan noggrant rengörs inför sprutning. Det är dessutom viktigt att successivt ta bort återstudsat material från ytor som senare ska sprutas, eftersom återstudsat material försämrar sprutbetongens vidhäftning. Förslagsvis blåses ytan kontinuerligt ren med tryckluft under sprutning. En betongyta som är ren och fri från återstudsat material ökar sannolikheten för en lyckad reparation med god beständighet. För skibord ställs det ofta höga krav på betongens ytjämnhet, varför minst brädrivning av ytan bör utföras.

Slutligen bör det nämnas att också sprutoperatörens erfarenhet och skicklighet har stor betydelse för skibordsreparationens beständighet. För ytterligare vägledning kring projektering, utförande och kvalitetskontroll av sprutbetongreparationer hänvisas det till Sprutbetonghandboken av Nordström och Holmgren (2009).



## 5.4 SUMMERING

I denna studie har det visats att det förekommer stor spridning i tillståndet hos sprutbetongreparerade skibord. Tunna sprutbetongreparationer ökar risken för bom, spjälkning, krympsprickor och i förlängningen bristande beständighet. Det har också visats att dålig beständighet hos sprutbetongreparationer inte enbart beror på sprutbetongens egenskaper. Också tillståndet hos konstruktionsbetongen direkt under sprutbetongskiktet har stor betydelse för reparationens beständighet.

Trots bristande beständighet hos en del sprutbetongreparerade skibord finns det samtidigt skibord som uppvisar god beständighet mer än 30 år efter utförandet. Detta visar att det går att åstadkomma sprutbetongreparerade skibord med god beständighet genom omsorgsfull projektering och noggrant utförande.

## 6 Referenslista

- Björkenstam E (1999) *Inventering av betongreparationer utförda på svenska vattenkraftsanläggningar*, Elforsk rapport 99:28, Elforsk
- Björkenstam E (2001) *Studie och uppföljning av reparationer utförda på utskov/skibord*, Elforsk rapport 01:29, Elforsk
- Hassanzadeh M (2022) *Reparationsmaterial för ytskador – Sammanställning för reparation av skador i vattenkraftens betonganläggningar*, Energiforsk [ej publicerad]
- Nordström E (1996) *Sprutbetongs beständighet – Inventering*, SveBeFo Rapport 26 / Elforsk rapport 96:18, Stiftelsen Svensk Bergteknisk Forskning / Elforsk
- Nordström E, Holmgren J (2009) *Sprutbetonghandboken – Reparation*, Elforsk rapport 09:74, Elforsk
- Rosenqvist M (2016) *Frost-induced deterioration of concrete in hydraulic structures*, TVBM-1036, Lunds Universitet
- Rosenqvist M (2019) *Uppföljning av reparationer på skibord av betong*, Energiforsk rapport 2019:585, Energiforsk





# UPPFÖLJNING AV SPRUTBETONG- REPARERADE SKIBORD

Sprutbetong har under lång tid varit ett vanligt förekommande material vid reparation av skadade betongkonstruktioner vid landets dammanläggningar. I denna studie visas att det förekommer stor spridning i tillståndet hos sprutbetongreparerade skibord. Tunna sprutbetongreparationer ökar risken för bom, spjälkning och bristande beständighet. Det framkommer också att dålig beständighet hos sprutbetongreparationer inte enbart beror på sprutbetongens egenskaper. Också tillståndet hos konstruktionsbetongen direkt under sprutbetongskiktet har stor betydelse för reparationens beständighet.

Trots bristande beständighet hos en del sprutbetongreparerade skibord finns det skibord som uppvisar god beständighet mer än 30 år efter utförandet. Det visar att det går att åstadkomma sprutbetongreparerade skibord med god beständighet genom omsorgsfull projektering och noggrant utförande.

## Ett nytt steg i energiforskningen

Energiforsk är en forsknings- och kunskapsorganisation som samlar stora delar av svensk forskning och utveckling om energi. Målet är att öka effektivitet och nyttiggörande av resultat inför framtida utmaningar inom energiområdet. Vi verkar inom ett antal forskningsområden, och tar fram kunskap om resurseffektiv energi i ett helhetsperspektiv – från källan, via omvandling och överföring till användning av energin. [www.energiforsk.se](http://www.energiforsk.se)



Energiforsk